

RAPPORT 2021/7

# Klimatpåverkan från dikad torvtäckt skogsmark – effekter av dikesunderhåll och återvätning

Kunskapssammanställning och analys



© Skogsstyrelsen, april 2021

FÖRFATTARE

Andreas Drott, Skogsstyrelsen  
Hillevi Eriksson, Skogsstyrelsen

REFERENSGRUPP

Göran Berndes, Chalmers  
Åsa Kasimir, Göteborgs universitet  
Leif Klemedtsson, Göteborgs universitet  
Gustaf Egnell, SLU  
Järvi Järveoja, SLU  
Mattias Lundblad, SLU  
Tomas Lundmark, SLU  
Mats Nilsson, SLU  
Matthias Peichl, SLU  
Mats Öquist, SLU

PROJEKTLEDARE

Karin Östberg

PROJEKTGRUPP

Andreas Drott, Hillevi Eriksson, Karin Östberg

OMSLAGSFOTO

Anja Lomander (v) och Benjamin Forsmark (h)

FORMGIVARE

Ann Giss

UPPLAGA

Finns endast som pdf-fil för egen utskrift

# Innehåll

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Förord</b>   | <b>5</b>  |
| <b>Definitioner/begrepp</b>   | <b>6</b>  |
| <b>Slutsatser</b>   | <b>7</b>  |
| <b>Sammanfattning</b>   | <b>8</b>  |
| <b>Summary</b>  | <b>11</b> |
| <b>1 Inledning</b>  | <b>14</b> |
| 1.1 Bakgrund och motiv till utredningen                                   | 14        |
| 1.2 Utredningens mål och avgränsning                                      | 15        |
| 1.3 Arealer torvmark och dikad mark i Sverige                             | 15        |
| 1.4 Dikningens historik   | 16        |
| 1.5 Beskrivning av handlingsalternativ                                    | 17        |
| 1.6 Tidsperspektiv  | 19        |
| 1.7 Rapportens struktur   | 19        |
| <b>2 Skattningar av kol- och växthusgasflöden för marken</b>              | <b>21</b> |
| 2.1 Poster i markens växthusgasbalans                                     | 21        |
| 2.2 Växthusgasflöden för dikad torvtäckt skogsmark                        | 24        |
| 2.3 Växthusgasflöden för odikad och återvätt torvmark                     | 33        |
| 2.4 Summering av markens växthusgasbudget                                 | 41        |
| <b>3 Handlingsalternativens betydelse för klimatet via träden</b>         | <b>43</b> |
| 3.1 På vilka sätt inverkar träden på klimatet?                            | 43        |
| 3.2 Dikningens påverkan på tillväxt                                       | 43        |
| 3.3 Förändring av kollager i biomassa                                     | 45        |
| 3.4 Substitution av andra material och bränslen                           | 48        |
| 3.5 Underhåll och ökning av lagret i skogsindustriprodukter               | 53        |
| <b>4 Analys av handlingsalternativen</b>                                  | <b>55</b> |
| 4.1 Vilken klimatpåverkan ger fortsatt dikesrensning och trakthyggesbruk? | 55        |
| 4.2 Vilken klimatpåverkan ger återvätning i olika fall?                   | 58        |
| 4.3 Vad blir klimatpåverkan om skogen inte slutavverkas?                  | 60        |
| 4.4 Osäkerheter och styrande faktorer för växthusgasbalansen              | 61        |
| <b>5 Några identifierade kunskapsluckor</b>                               | <b>63</b> |
| <b>6 Litteratur/källförteckning</b>                                       | <b>64</b> |

## Förord

Avgång av växthusgaser till atmosfären från dikad torvmark har lyfts fram som ett problem, både i Sverige och internationellt. Ett av de uppdrag som riktades till Skogsstyrelsen i den samverkansprocess om skogsproduktion som genomfördes 2018-2020, var att utreda hur avgång av växthusgaser kan minskas från dikad torvtäckt skogsmark. Denna rapport presenterar resultatet av den utredningen.

Från Skogsstyrelsens sida vill vi först och främst tacka den referensgrupp med forskare som varit ett stöd för oss i arbetet. Referensgruppens synpunkter och idéer har varit avgörande för utformningen av rapporten. Gruppen har också bidragit med nödvändiga referenser och har faktagranskat de olika delarna. Gruppen har bestått av: Göran Berndes, Chalmers; Åsa Kasimir och Leif Klemedtsson, Göteborgs universitet; Gustaf Egnell, Järvi Järveoja, Mattias Lundblad, Tomas Lundmark, Mats Nilsson, Matthias Peichl och Mats Öquist, SLU.

Vi vill också tacka Elisabet Andersson, Jonas Bergqvist, Clas Fries och Johan Wester, Skogsstyrelsen, samt Björn Hånell, SLU, Amelie Lindgren, Naturvårdsverket, Paavo Ojanen, Helsingfors universitet, Peter Roberntz, WWF, och Göran Örlander, Södra, för värdefulla synpunkter och inspel. Tack också till Jean-Michel Roberge, Skogsstyrelsen, som hjälpt oss att få tillgång till artiklar.

Jönköping och Umeå april 2021

Herman Sundqvist  
Generaldirektör, Skogsstyrelsen

Andreas Drott  
Markspecialist, Skogsstyrelsen

## Definitioner/begrepp

| Ord/förkortning/begrepp    | Förklaring/definition  |
|----------------------------|--|
| Albedo                     | En ytas reflektion av inkommande kortvågig strålning från solen.   |
| Antropogena                | Av människan orsakade  |
| Autotrof respiration       | Flöde av koldioxid på grund av cellandning.  |
| Bonitet                    | Markens naturgivna produktionsförmåga. Uttrycks i enheten skogskubikmeter per hektar och år.   |
| Boreonemorala zonen        | Övergångszon mellan den nemorala och den boreala zonen. I Sverige regionen från norra Skåne till den biologiska norrlandsgränsen.  |
| DIC                        | Löst oorganiskt kol  |
| Dikesrensning              | Underhåll av diken genom rensning till befintligt djup och läge.   |
| DOC                        | Löst organiskt kol   |
| GWP                        | Global warming potential: faktor som används för att jämföra klimatpåverkan av övriga växthusgaser med koldioxid i olika tidsperspektiv.   |
| Heterotrof respiration     | Flöde av koldioxid på grund av nedbrytning.  |
| Klimatnytta                | Effekt som gör att den av människan orsakade uppvärmningen av jordens atmosfär motverkas.  |
| Koldioxidekvivalenter      | Utsläpp av en växthusgas uttryckt som hur mycket koldioxid som skulle behöva släppas ut för att ge motsvarande effekt på klimatet.   |
| Kolbalans                  | Balans mellan in- och utflöde av kol för ett system, tex skogsmark.  |
| Lustgas                    | N <sub>2</sub> O; dikväveoxid  |
| Metan                      | CH <sub>4</sub> ; även kallad sumpgas  |
| Nemorala zonen             | Den sydliga lövskogsregionen i Sverige.  |
| Nettoutsläpp / nettoupptag | Skillnaden mellan utsläpp och upptag.  |
| Substituera                | Ersätta  |
| Substitutionseffekt        | Effekten på nettoutsläppen av växthusgaser av att vissa råvaror/energislager ersätter andra vid produktion/konsumtion/kvittblivning av olika produkter eller energi. En positiv substitutionseffekt reducerar människans klimatpåverkan och tvärtom.   |
| Substitutionsfaktor        | En substitutionsfaktor beskriver hur mycket växthusgasutsläpp som undviks när en viss råvara/energi används istället för ett annat, eller en typisk produktmix. Här räknat i termer av hur mycket koldioxidutsläppen från fossila bränslen och cement minskar per koldioxidinnehåll i skogsbiomassa. |
| Återvätning                | Åtgärd som syftar till att återställa grundvattennivån till ungefär den nivå den hade före dikning i relation till markytan.   |

---

## Slutsatser

Avgång av växthusgaser från marken på dikad torvmark är högre från dikad näringsrik torvmark i södra Sverige och lägre från dikad näringsfattig torvmark i norra Sverige.

På näringsrik, väl-dränerad, dikad torvmark i södra Sverige har dikning gett upphov till en tydligt ökad avgång av växthusgaser från marken.

På magrare torvmark i södra Sverige och mer näringsrik torvmark i norra Sverige har dikning i genomsnitt gett upphov till en viss ökad avgång av växthusgaser från marken.

Fortsatt dikesrensning och trakthyggesbruk på de marker där dikning medför ökad avgång av växthusgaser från marken innebär att denna situation vidmakthålls så länge det finns ett torvlager kvar som kan brytas ned.

För magrare torvmark i norra Sverige gör osäkerheter i skattningarna att det inte säkert kan bedömas om dikningen har haft en negativ eller positiv inverkan på avgången av växthusgaser från marken. Oavsett vilket är nettoeffekten liten per hektar jämfört med bördigare marker längre söderut i landet.

Återvätning av näringsrik, väl-dränerad, dikad torvmark i södra Sverige bedöms i genomsnitt leda till en tydligt minskad klimatpåverkan i ett 100-årsperspektiv.

För den grupp dikade torvmarker som har högst avgång av växthusgaser, dvs näringsrik, väl-dränerad, dikad torvmark i södra Sverige med en tidigare jordbrukshistorik, indikerar resultaten för marken att återvätning ger en minskad klimatpåverkan även i ett 20-årsperspektiv. I 20-årsperspektivet får metanavgången en större vikt.

Det finns behov av att fortsätta studera olika alternativ för skogsbruk på dikad torvmark, inklusive hyggesfritt brukande, som både inbegriper att hålla nere avgång av koldioxid och avgång av metan från marken.

Fler studier behövs för att göra bilden mer tydlig när det gäller på vilka dikade torvmarker som återvätning kan ge en klimatnytta och storleken av densamma.

# Sammanfattning

## Bakgrund

Denna rapport redovisar resultatet av en utredning som genomförts av Skogsstyrelsen med stöd av en grupp forskare. Målet med utredningen var att analysera vilken klimatpåverkan två huvudsakliga handlingsalternativ för dikad torvtäckt skogsmark i Sverige ger. Utredningen var ett av de uppdrag som riktades till Skogsstyrelsen i den samverkansprocess om skogsproduktion som genomfördes 2018-2020.

Klimatpåverkan på grund av avgång av växthusgaser till atmosfären från dikad torvmark har uppmärksammats som ett problem både i Sverige och internationellt. Restaurering av torvmarker genom höjning av grundvattenytan, *återvätning*, har lyfts fram som en möjlig åtgärd för att minska problemet. Samtidigt har rensning av dåligt fungerande diken lyfts i Sverige som en möjlighet att öka träd tillväxten på torvmark.

I Sverige finns cirka 0,8 miljoner hektar dikad produktiv skogsmark (där skogsproduktionen bedöms vara minst 1 m<sup>3</sup>sk per hektar och år) som är klassad som torvmark (med minst 30 cm torvtäcke).

## Huvudalternativ

I rapporten görs en analys av påverkan på växthusgasbalansen för två huvudalternativ för användning av den dikade torvmarken:

1. Underhåll av diken genom dikesrensning, och fortsatt trakthyggesbruk.
2. Höjning av grundvattenytan genom återvätning, och sedan fri föryngring/utveckling, möjligen på längre sikt med någon form av hyggesfritt brukande i vissa fall.

## Metoder för analys

Analysen utgår från att man från och med idag väljer antingen det ena eller andra alternativet, och görs både i ett längre (100 år) och ett kortare (20 år) tidsperspektiv. Vår slutsats är att analysen i 100-årsperspektivet ger en mer fullständig bild av handlingsalternativens klimatpåverkan. Återvätning med klimatmotiv är av flera skäl i första hand aktuell på marker med låga virkesförråd. Detta innebär ofta att skogen nyligen avverkats eller att nedlagd jordbruksmark relativt nyligen ställts om till skogsmark.

Träden påverkar växthusgasbalansen på olika sätt: genom förändring av kollager i träd, förändring av kollager i skogsprodukter i samhället, samt genom effekten som uppstår när skogsprodukter substituerar (ersätter) andra material och bränslen med egen klimatpåverkan.

De flöden av kol och växthusgaser som sker till och från marken påverkar växthusgasbalansen. Markens kolbalans är skillnaden mellan avgång av koldioxid till atmosfären från marken på grund av nedbrytning, tillförsel av kol till marken med

förna från träd, vegetation och organismer och bortförsl av kol med grundvatten. Flöden av växthusgaserna lustgas och metan sker till och från marken, vilket ger nettoflöden för dessa gaser.

Effekten av dikning skattades som den förändring i nettoavgång som dikningen medfört, det vill säga som skillnaden mellan nettoavgången av växthusgaser från dikad mark (främst koldioxid och lustgas) och nettoavgången från odikad mark (främst metan).

Effekten av återvätning skattades på motsvarande sätt, det vill säga som skillnaden mellan nettoavgången av växthusgaser från återvätt mark och nettoavgången från dikad mark. Efter återvätning får man tillbaka en metanavgång men undviker en torvnedbrytning (i de fall det pågår en sådan) som ger koldioxid- och lustgasavgång.

För marken har vi sammanställt tillgängliga forskningsresultat på avgång respektive upptag av koldioxid, metan och lustgas från dikade, odikade och återvätta torvmarker i Sverige och länder med jämförbara klimat. Det tillgängliga dataunderlaget medger en grov indelning i mer näringsrika respektive mer näringsfattiga marker i södra Sverige (tempererad zon, motsvarande ungefär Götaland och södra Svealand) respektive norra Sverige (boreal zon, motsvarande ungefär norra Svealand och Norrland).

## Resultat

### **Kolförråd i träd och substitution av andra material och bränslen**

För alternativet underhåll av diken och fortsatt trakthyggesbruk förändras inte det genomsnittliga kollagret i träd i 100-årsperspektivet jämfört med idag, i och med att samma typ av skogsbruk fortsätter att bedrivas. Återvätning bedöms i de flesta fall inte heller förändra det genomsnittliga kollagret i träd på något betydande sätt i detta tidsperspektiv. Det finns dock marker där etablering av träd efter återvätning förväntas gå långsamt eller utebli. Trädslagsblandningen efter återvätning förväntas i många fall få ett högre inslag av löv och en lägre tillväxt jämfört med en produktionsskog på dikad mark.

Om de extra skogsprodukter som produceras på grund av dikningen ersätter andra material och bränslen - de som skulle använts om trä inte fanns - bedöms utsläpp motsvarande högst ca 1 ton koldioxid per hektar och år från dessa andra material undvikas. Vilken nettoeffekt man får på klimatet när man jämför dessa undvikna utsläpp med utsläppen från torvmarksvirkets egen produktion beror framförallt på hur dikningen påverkar nettoutsläppen från marken. Om virkesutbudet från svenska torvmarker skulle varit lägre idag, utan historisk dikning, bedömer vi att virke från fastmark skulle ha ersatt en stor del och att detta gäller i än högre grad i framtiden.

### **Flöden av växthusgaser för marken och sammantagen klimatpåverkan**

#### *Näringsrik dikad torvmark i södra Sverige*

För näringsrik dikad torvmark i södra Sverige indikerar analysen i 100-årsperspektivet att dikning gett upphov till en minskning av kollagret i mark (nettoavgång av koldioxid) motsvarande mellan 10–30 ton koldioxid per hektar och år,



med de högsta värdena på tidigare jordbruksmark. Lustgasavgången skattas till i genomsnitt motsvarande ca 5 ton koldioxid per hektar och år. Övriga poster för marken är små. Om en återvätning genomförs på näringsrik dikad torvmark i södra Sverige bedöms detta leda till att man återfår en metanavgång i samma storleksordning som fanns innan dikning och som i genomsnitt motsvarar ca 11 ton koldioxid per hektar och år. Marken bedöms efter återvätning återgå till att i genomsnitt ta upp ca 1,8 ton koldioxid per hektar och år (torvtillväxt). Nettoeffekten av en återvätning för näringsrik dikad torvmark i södra Sverige är alltså en minskad avgång av växthusgaser från marken motsvarande 6–26 ton koldioxid per hektar och år.

För dessa marker är de utsläpp som potentiellt undviks då det virke som produceras på grund av dikningen ersätter andra material och energilag, små jämfört med nettoeffekten för marken. Återvätning av näringsrik dikad torvmark i södra Sverige bedöms i genomsnitt leda till en tydligt minskad klimatpåverkan i ett 100-års-perspektiv.

#### *Näringsfattig dikad torvmark i södra Sverige och näringsrik dikad torvmark i norra Sverige*

För näringsfattig dikad torvmark i södra Sverige och näringsrik dikad torvmark i norra Sverige indikerar analysen i 100-årsperspektivet att återvätning i genomsnitt skulle ge en minskad avgång av växthusgaser från marken motsvarande 1,3–1,4 ton koldioxid per hektar och år. Analysen indikerar att klimatnytta erhålls vid återvätning av dessa marker, men i betydligt lägre grad än på de mer bördiga torvmarkerna i södra Sverige.

#### *Näringsfattig dikad torvmark i norra Sverige*

För näringsfattig dikad torvmark i norra Sverige indikerar analysen i 100-årsperspektivet att det i genomsnitt inte sker någon ökad avgång av växthusgaser från marken på grund av dikning. Där det stämmer att marken inte förlorar kol efter dikning ger den extra virkesproduktionen som dikningen medfört sammantaget en klimatnytta.

### **Osäkerheter och behov av ytterligare studier**

Den största osäkerheten bedöms finnas för markens kolbalans, som är komplicerad att skatta och där det idag bara finns ett mindre antal studier gjorda. Därför anger vi ett intervall för denna post. Avgången av metan efter återvätning motsvarar vad som kan förväntas om grundvattennivån återställs till nivån före dikning, vilket för de återvätningar som utförs under svenska förhållanden ofta innebär 5–20 centimeter under markytan. Om en stor andel av ytan blir vattenspegel eller om grundvattenytan fluktuerar kraftigt under året kan avgången av metan efter återvätning förväntas vara högre. Det finns behov av ytterligare studier för att göra bilden mer komplett och vi pekar ut ett antal identifierade kunskapsluckor.

# Summary

## Aim and background

This report is the outcome of an investigation performed by the Swedish Forest Agency, with support from a group of researchers. The aim was to analyse the climate impact from two major management options for forested peat soils, including abandoned farmland on peat soils, in Sweden.

Globally as well as in Sweden, greenhouse gas emissions from drained peat soils have been recognized as a problem. Restoration of peatlands by raising the groundwater table, *rewetting*, has been put forward as a means of decreasing the problem. At the same time, increased use of maintenance of poorly functioning ditches has been identified in Sweden as an option for increasing tree growth on peat soils.

In Sweden, about 0,8 million hectares of drained productive forest land (with a potential wood production > 1 cubic metre per hectare and year) is classified as peat soil (> 30 cm peat).

## Analysed management options

In the report, the greenhouse gas balance impact is analysed for two management alternatives:

1. Ditch network maintenance when needed. Continued clear-cut forestry.
2. Rewetting by raising of the groundwater table. No active regeneration of the forest. Either free development towards a natural forest or a careful continuous-cover forestry.

## Methods of analysis

The analysis was based on the assumption that one of the two alternatives was chosen. A longer (100 years) and a shorter (20 years) time perspective was applied. Our standpoint was, however, that the 100-year perspective presents a more complete picture of the greenhouse gas balance impact. For different (mainly practical) reasons, rewetting in order to decrease greenhouse gas emissions will primarily be done in forest stands with low standing volume of trees. Typically, this means that the forest were recently cut or that agriculture was fairly recently abandoned (which in Sweden means it is forest land).

The trees can affect the greenhouse gas balance in different ways; the carbon stock in tree biomass may change, the carbon stock in forest products may change, and the forest products from the site may substitute (replace) other materials and fuels with another climate impact.

Net fluxes of carbon and greenhouse gases of the soil influence the greenhouse gas balance. The soil carbon balance is the difference between addition of carbon to the soil, in the form of litter from trees, other vegetation and organisms, losses

in the form of carbon dioxide emissions from decomposition, and transport of dissolved carbon with groundwater. Also, net fluxes of methane and nitrous oxide affects the greenhouse gas balance of peat soils.

The effect of ditching was estimated as the change in net emission of greenhouse gases that the ditching has caused, that is, as the difference between the net emission from ditched soil (mainly carbon dioxide and nitrous oxide), and the net emission from non-ditched soil (mainly methane).

The effect of rewetting was estimated in a similar way, that is, as the difference between the net emission from rewetted soil and the net emission ditched soils. After rewetting, methane emissions are regained, and peat decomposition, resulting in emissions of carbon dioxide and nitrous oxide, is avoided, in those cases where it did occur.

For the greenhouse gas fluxes of the soil, we have compiled existing research results for carbon, methane and nitrous oxide from drained, rewetted and non-drained peat soils in Sweden, and other countries with a similar climate. The available data allows for a separation of data into more nutrient rich and more nutrient poor soils in southern and northern Sweden, respectively.

## Results

### **Carbon storage in trees and substitution of other materials and fuels**

Continued clear-cut forestry and maintenance of old ditches is not expected to change the average carbon stock in standing trees in a 100-year perspective. Neither is rewetting expected to change the average carbon stock in trees significantly in this time frame, as trees will normally grow back after rewetting. In some cases, regeneration may take longer time or fail. In most cases, there will be a higher proportion of deciduous trees and a lower growth rate compared to a production forest on drained land.

In case the extra forest products produced as a result of the ditching replace other materials and fuels (that would have been used if wood/biomass did not exist), emissions corresponding to maximum about 1 ton of carbon dioxide per hectare and year were estimated to be avoided from production/consumption of these other material and fuels. The overall net climate effect when comparing these avoided emissions with the emissions from the production of the wood on peat soils is highly dependent on how the ditching affects the net emissions of greenhouse gases from the soil.

If no historical drainage had been conducted and the supply of wood from Swedish peat soils would have been lower than today, we conclude that wood from (increased harvest on) mineral soils would have replaced a large proportion, and that this proportion will be even higher in the future.

### **Greenhouse gas balance of the soil and of the entire system**

#### *More fertile peat soils in southern Sweden*

For more nutrient rich forested peat soils in southern Sweden, the analysis indicates that, in a 100-year perspective, ditching has led to a decrease in the carbon

stock in soil (a net emission of carbon dioxide) corresponding to 10–30 ton carbon dioxide per hectare and year. The highest emissions are found on former agricultural land. The emission of nitrous oxide is estimated to correspond to on average of about 5 ton carbon dioxide per hectare and year. Other fluxes for the soil are small. Rewetting these soils will largely stop those emissions but will reinstall methane emissions corresponding to on average about 11 ton carbon dioxide per hectare and year. The rewetted soil is estimated to regain an average net uptake of 1,8 ton carbon dioxide per hectare and year. The overall net effect of rewetting for more nutrient rich drained forested peat soils in southern Sweden is a decrease in emission of greenhouse gases corresponding to 6–26 ton carbon dioxide per hectare and year.

For these soils, emissions potentially avoided when the wood produced as a result of the drainage replaces other materials and fuels are small compared to the net effect on the soil greenhouse gas balance. Therefore, rewetting of more fertile drained forested peat soils in southern Sweden is estimated on average to lead to distinctly decreased climate warming in a 100-year perspective.

#### *Less fertile peat soil in southern and more fertile peat soils in northern Sweden*

For more nutrient poor drained forested peat soils in southern Sweden and more nutrient rich drained forested peat soils in northern Sweden, the analysis indicates that, in a 100-year perspective, rewetting would decrease emissions from the soil corresponding to on average 1.3–1.4 ton carbon dioxide per hectare and year. The analysis indicates that rewetting of these soils is beneficial for the climate, but to a much lesser extent than for the more nutrient rich soils in southern Sweden.

#### *Less fertile peat soils in northern Sweden*

For more nutrient poor drained forested peat soils in northern Sweden, the analysis indicates that on average there is no increased emission of greenhouse gases from the soil as a result of ditching. For cases where the soil does not emit more greenhouse gases after ditching, the substitution effect of the extra wood that the ditching results in makes the land use overall beneficial for the climate.

## **Uncertainties and need for further studies**

We conclude that the soil carbon balance has large uncertainties, especially for the peat soil types where a lower number of studies have been performed. For the concluding calculations, we apply the methane emission after rewetting that can be expected when the groundwater level is restored to what it typically was before ditching, that is 5–20 cm below the soil surface. If rewetting results in larger surface water areas or in cases where the groundwater level is fluctuating strongly over the year, a higher release of methane can be expected. Although we believe drawn conclusions are robust, there is a strong need for further studies to improve mean value precision in most cases. Some further major knowledge gaps are also pointed out.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund och motiv till utredningen

Våtmark är mark där grundvattenytan ligger i eller nära markytan. Hög grundvattennivå leder till brist på syre vilket i sin tur gör att nedbrytning av förna hämmas. Ofta växer då ett torvlager sakta till på ytan. Syrebristen i en våtmark gör också att rötter fungerar sämre och därigenom växer träd långsammare eller inte alls. I en våtmark sker normalt en naturlig produktion av metan (CH<sub>4</sub>) till följd av syrebrist.

När en våtmark dikas sänks grundvattenytan och syretillgången ökar. Därigenom ökar både nedbrytningen av förna och trädens tillväxt. Istället för en långsam uppbyggnad av kolförrådet i marken genom torvtillväxt kan man få en koldioxidavgång från marken genom att nedbrytningen av torv blir större än tillförseln av ny förna. Hur stor denna nettoavgång av koldioxid (CO<sub>2</sub>) blir beror på förutsättningarna för nedbrytning. Vid högre bördighet får man även en avgång av lustgas (N<sub>2</sub>O) från dikad mark. Samtidigt minskar avgången av metan efter dikning jämfört med en odikad våtmark.

Sedan början av 1990-talet har skattningar av nettoutsläpp från dikad torvmark funnits med i den svenska analysen av samhällets klimatpåverkan<sup>1 2</sup> och sedermera också i länders årliga rapportering till FN:s klimatpanel IPCC. Utsläpp av växthusgaser från dikad skogsmark i Sverige beräknades uppgå till ca 6,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Mton CO<sub>2</sub>e) för år 2019<sup>3</sup>. På senare år har restaurering av våtmarker genom återvätning i stor skala föreslagits som en klimatåtgärd i propositioner och utredningar<sup>4 5</sup>.

Samtidigt har förekomsten av dåligt fungerande diken uppmärksammats i en analys av olika möjligheter som finns att öka träd tillväxten i svensk skogsmark<sup>6</sup>. Där lyftes fram att det finns en osäkerhet kring på vilka marker dikesrensning kan rekommenderas som tillväxthöjande åtgärd ur ett växthusgasperspektiv, och på vilka marker återvätning bör rekommenderas. Enligt förslag borde därför Skogsstyrelsen utreda ”hur avgången av växthusgaser kan minskas från skogliga organogena jordar”.

<sup>1</sup> Eriksson H. 1991. "Effekter av olika aktiviteter inom jord- och skogsbruk på den svenska koldioxidbalansen", bilaga 1 till "Växthusgaserna - utsläpp och åtgärder i ett internationellt perspektiv". Naturvårdsverket, Rapport 4011 (1991).

<sup>2</sup> Utsläpp av växthusgaser från torvmark. Jordbruksverket rapport 2014:24

<sup>3</sup> Enligt den svenska rapporteringen till FN och EU (National inventory report 2021, Sweden. Naturvårdsverket 2021). Här ingår de skattade utsläppen från marken utan avdrag för de utsläpp marken hade naturligt innan dikning, trots att det egentligen är differensen som är orsakad av människan (antropogen). Vid rapportering av återvätning som en klimatåtgärd kommer länder enbart att få tillgodoräkna sig differensen.

<sup>4</sup> En samlad politik för klimatet – klimatpolitisk handlingsplan. Regeringens proposition 2019/20:65

<sup>5</sup> Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande av klimatpolitiska vägvalsutredningen, SOU 2020:4

<sup>6</sup> Skogsskötsel med nya möjligheter. Skogsstyrelsen Rapport 2019:24

## 1.2 Utredningens mål och avgränsning

Målet med denna utredning är att analysera vilken klimatpåverkan två huvudsakliga handlingsalternativ för dikad torvtäckt skogsmark i Sverige ger. Enligt projektdirektivet finns två delmål:

- sammanställa kunskap om vilken klimatpåverkan som dikning, dikesrensning och återvätning har
- presentera slutsatser om vilken påverkan på växthusgasflöden och skogsproduktion som dikning, dikesrensning och återvätning har på olika skogliga ståndorter i Sverige, i olika tidsperspektiv

Utredningen omfattar dikad produktiv skogsmark (där skogsproduktionen bedöms vara minst 1 m<sup>3</sup>sk per hektar och år) som är klassad som torvmark (med minst 30 cm torvtäcke). Definitivt nedlagd jordbruksmark som är lämplig för virkesproduktion, och som idag inte används för något annat ändamål, är enligt Skogsvårdslagen att betrakta som skogsmark. Sådan mark ingår i utredningen.

Med dikad mark avses mark där markavvattnings utförts, det vill säga sådan dikning som utförs för att varaktigt öka markens lämplighet för ett visst ändamål, till exempel skogsproduktion, och där dikena får underhållas genom rensning. Skyddsdikning, som är en tillfällig åtgärd för att leda bort överskottsvatten i förnyringsskedet och där dikena sedan inte får underhållas, ingår inte.

Utredningen är avgränsad till att omfatta effekter på växthusgasbalansen för olika handlingsalternativ för torvtäckt skogsmark. I utredningen ingår inte styrmedelsanalys eller att föreslå styrmedel. Eventuella effekter på andra värden, till exempel påverkan på biologisk mångfald, vattentillgång eller risken för skogskador, ingår inte heller. På ett par ställen i diskussionen ger vi kortfattade kommentarer kring några sådana aspekter, men detta är inte huvudsyftet med utredningen. Vi analyserar inte några alternativ som innebär att skogsmark skulle övergå till att bli jordbruksmark.

## 1.3 Arealer torvmark och dikad mark i Sverige

Den totala arealen produktiv skogsmark på torvmark är drygt 2 miljoner hektar<sup>7</sup>. Cirka 0,8 miljoner hektar produktiv torvmark beräknas vara dikad, baserat på Riksskogstaxeringens data för 2015–2019 (Tabell 1.1). Dessutom är cirka 1,5 miljoner hektar fastmark påverkad av diken. Av dessa är cirka 0,5 miljoner hektar mark med torvartad mår. En del av markerna på torvartad mår kan ha varit torvmark vid dikningstillfället, eftersom torven sjunker ihop vid dikning och bryts ned över tid när syretillförseln ökar (Hånell 2004). Den definition på dikad mark som används av Riksskogstaxeringen är att det ska finnas ett dike som påverkar provytans hydrologi inom 25 meter från provytans centrum. Riksskogstaxeringen gör också en bedömning av om diket fungerar eller ej (fig 3.1).

<sup>7</sup> Riksskogstaxeringen 2021

**Tabell 1.1 Areal dikad produktiv torvmark (1000 ha) på bördig (ört- och grästyper samt mark utan fältskikt) och mindre bördig (ris-, starr- och rosling/tranbärtyper) mark utanför formellt skyddade områden. Data från Riksskogstaxeringen 2006-2010 (grå) och 2015-2019 (svarta).**

|                 | Ört, gräs, utan fältskikt |           | Blåbärsris och sämre |           |
|-----------------|---------------------------|-----------|----------------------|-----------|
|                 | 2006-2010                 | 2015-2019 | 2006-2010            | 2015-2019 |
| <b>Torvmark</b> |                           |           |                      |           |
| Norrland        | 113                       | 136       | 185                  | 214       |
| Svealand        | 70                        | 71        | 74                   | 76        |
| Götaland        | 136                       | 150       | 143                  | 139       |
| Summa           | 318                       | 357       | 402                  | 430       |

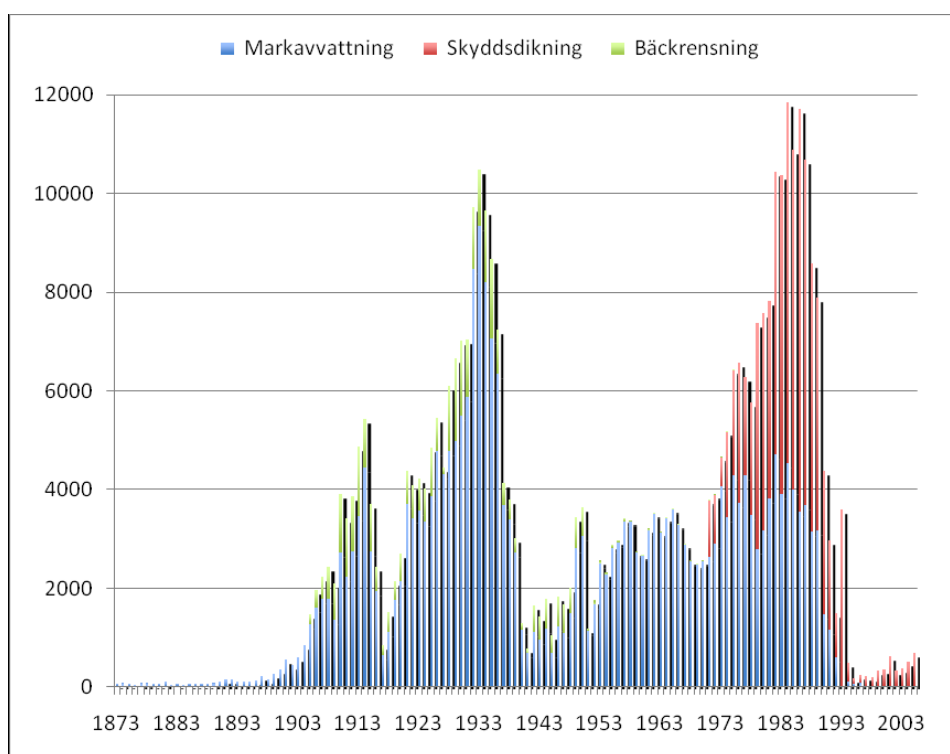
## 1.4 Dikningens historik

Hånell (2009) ger en översikt över skogsdikningens historik som sammanfattas kort här. Egentlig skogsdikning började på 1850-talet, men åtgärdens omfattning var liten fram till förra sekelskiftet. Därefter ökade dikningsverksamheten påtagligt. Skälen var då inte enbart att höja skogsproduktionen och vinna ny mark utan också att skydda frisk mark från en förmodad pågående försumpning. En topp i dikningsverksamheten nåddes under depressionen på 1930-talet (figur 1.1). Statliga anslag för skogsdikning ställdes då till förfogande för att lindra arbetslösheten. En del mark (ca 0,35 miljoner ha) förblev dock fortfarande impediment även efter dikningen. Det statliga anslaget för skogsdikning efter andra världskriget stimulerade till dikning av 10 000 – 15 000 ha per år fram till början av 1990-talet då bidraget upphörde.

För att få utföra traditionell skogsdikning, som numera kallas markavvattning, krävs sedan 1986 tillstånd från länsstyrelsen. Efter tillståndspliktens införande råder i större delen av södra Sverige ett principiellt förbud mot markavvattning. Efter införandet av tillståndsplikten för markavvattning och bestämmelserna om det principiella förbudsområdet minskade markavvattningen (jämför figur 1.1).

På 1970-talet började en annan form av skogsdikning att tas i bruk – skyddsdikning. Den utförs för att förhindra försumpning i hyggesfasen och därmed underlätta skogsföryngringen. Skyddsdikning minskade i omfattning efter införandet av den nya Skogsvårdslagen år 1993.

Under det senaste decenniet har i genomsnitt ca 2 100 hektar nydikats, 1 100 hektar skyddsdikats och 5 300 hektar dikesrensats årligen i Sverige (Riksskogstaxeringen 2021).



Figur 1.1.[km/år] Skogsdikningens omfattning i Sverige. Antal km diken med fördelning på markavvattning och skyddsdikning, samt rensade bäckar. Källa: Hånell (2009).

## 1.5 Beskrivning av handlingsalternativ

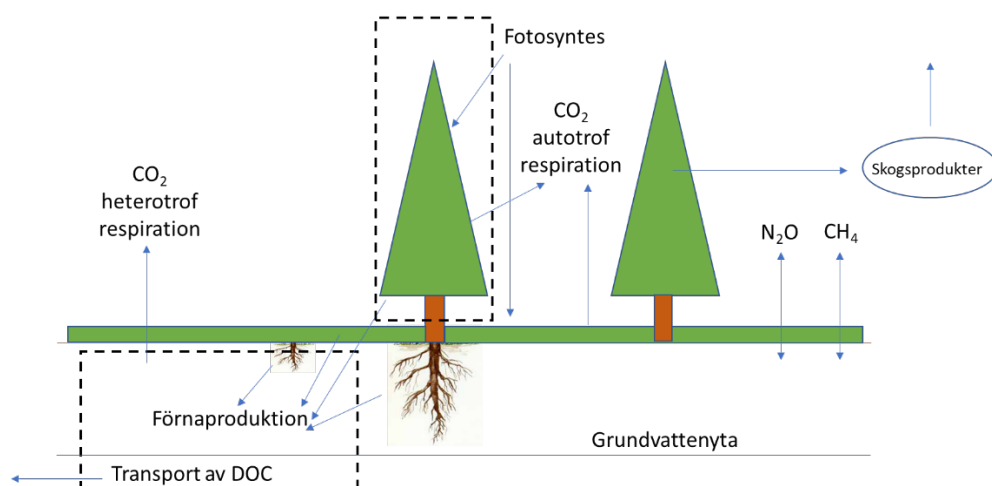
De handlingsalternativ som vi huvudsakligen jämför i denna rapport är:

1. Underhåll av diken genom dikesrensning, och fortsatt trakthyggesbruk.
2. Höjning av grundvattennivån genom att plugga eller lägga igen diken (återvätning), och sedan fri förnygring/utveckling, möjligen på längre sikt med någon form av hyggesfritt brukande i vissa fall.

För båda alternativen får man en påverkan på halterna av växthusgaser i atmosfären genom:

- den förändring i kollager som sker i trädbiomassan
- den förändring i kollager i skogsprodukter i samhället som virkesproduktionen på ståndorten bidrar till, samt den effekt som erhålls när skogsprodukter ersätter andra produkter med egen klimatpåverkan
- den ökning eller minskning som sker i markens kollager
- det nettoflöde av metan och lustgas som sker från mark till atmosfär





Figur 1.2. Översikt över växthusgasflöden till och från en dikad torvmark. Den streckade boxen runt trädet symboliserar kollagret i träd. Den streckade boxen i marken symboliserar markens kollager. Pilar symboliserar flöden. Den blå ellipsen symboliserar de skogsprodukter som produceras när biomassa tas ut. Pilarnas längd är inte proportionell mot flödenas storlek.

Nettot av fotosyntes och autotrof respiration ger en uppbyggnad av kollager i träd (se figur 1.2). När träd skördas och blir produkter bidrar produkterna till det kollager som finns i skogsprodukter i samhället. Om produkterna ersätter produkter med egen klimatpåverkan får man en substitution på grund av detta.

Vid nedbrytning (heterotrof respiration) avgår koldioxid från marken till atmosfären. Samtidigt sker ett tillskott av kol till marken från den förna som produceras av träd, vegetation och organismer. Balansen mellan nedbrytning och tillskott, samt transport av löst organiskt kol (dissolved organic carbon, DOC) från marken, ger markens kolbalans. Flöden av lustgas och metan mellan mark och atmosfär ger ett nettoflöde för respektive gas.

När vi skattar klimatpåverkan av alternativet att fortsätta underhålla dikningen, med hjälp av dikesrensning, vill vi veta vilken skillnad dikningen gör för nettoavgången av växthusgaser. Därför skattar vi skillnaden mellan den naturliga nettoavgången av växthusgaser som fanns före dikning och nettoavgången från den dikade marken (se kap 4). Skillnaden i bidrag från träden (kollager och substitution) inkluderas också.

För alternativet återvätning är frågan vilken klimatpåverkan blir av att återvåta. Då tar vi nettoutsläppen från den återvåtta marken och drar ifrån nettoutsläppen från den dikade marken. Vi beaktar också den potentiella framtida minskningen i substitution och förändringen i kollager i biomassa och skogsprodukter (se kap 4).

Alternativet fortsatt trakthyggesbruk och dikesrensning innebär att dikesrensning utförs med ett antal decenniers mellanrum eller åtminstone i samband med slutavverkning. Effekten blir att grundvattennivån i genomsnitt hålls lägre än utan dikesrensning. Dikesrensning är framför allt aktuellt om man vill fortsätta bedriva trakthyggesbruk eftersom det är i föryngringskedet och ungskogsfasen som diken gör störst nytta. Ett hyggesfritt brukande genom blädningsbruk eller plockhuggning är i vissa fall möjligt även efter återvätning.

För återvätning med klimatmotiv gör vi bedömningen att detta i första hand är aktuell på mark med låga virkesförråd. Det innebär ofta att träden nyss avverkats, eller att marken relativt nyligen ställts om från att vara jordbruksmark.

## 1.6 Tidsperspektiv

Vid jämförelsen av handlingsalternativ gör vi analyser och för resonemang både för ett kortare (20 år) och ett längre (100 år) tidsperspektiv. Anledningen till att vi inkluderar båda dessa tidsperspektiv är att det är viktigt att de åtgärder som vidtas idag för att minska utsläpp av växthusgaser, leder till minskade nettoutsläpp även på lång sikt.

Jämförelsen handlar tidsmässigt framför allt om hur klimatpåverkan ser ut om man från och med idag väljer antingen det ena eller andra alternativet, det vill säga om man idag fortsätter med trakthyggesbruk och dikesrensning, eller om man idag återväter marken.

Det är ofta svårt att få överblick över effekten av ett handlingsalternativ som innebär någon form av skogsbruk om man inte summerar effekten över en omloppstid. Skogsbruk i Sverige bedrivs över omloppstider av i storleksordningen 50 till 120 år.

Den analys vi gör innebär bland annat att klimatpåverkan av koldioxid (från dikad mark) ställs mot metan (från odikad/återvätt mark). Metan är en mer kraftfull växthusgas än koldioxid, men klimatpåverkansprofilen för metan i förhållande till koldioxid skiljer sig åt över tid. Koldioxid har en längre uppehållstid i atmosfären än metan. Längre tidsperspektiv ger därför mindre vikt åt metanets inverkan medan kortare tidsperspektiv ger större vikt åt metan.

## 1.7 Rapportens struktur

Kapitel 2 behandlar de flöden av kol och växthusgaser som sker till och från marken. Vetenskapligt publicerade data över växthusgasflöden för produktiv torvtäckt skogsmark, som är relevanta för svenska förhållanden, redovisas. Resultaten diskuteras i förhållande till de emissionsfaktorer som redovisas av FN:s klimatpanel (IPCC) och som används i Sveriges klimatrapporering till FN och EU.

Kapitlet följer den uppdelning i tempererad och boreal zon som görs av IPCC (IPCC 2013). Tempererad zon omfattar nemoral och boreonemoral zon (området söder om den biologiska norrlandsgränsen). Uppdelningen i geografiska zoner bör inte tolkas som att det finns skarpa gränser mellan dessa, utan snarare som ett sätt att grovt gruppera de olika studier som gjorts. För att siffrorna ska vara jämförbara mellan olika flöden och poster använder vi i hög utsträckning enheten ton CO<sub>2</sub>, även för kolinnehåll i mark, biomassa och skogsprodukter.

Vid sökning av litteratur har vi dragit nytta av tidigare kunskapsammansättningar. Vi utgår från de sammansättningar som gjorts i IPCC (2013), Lindgren och Lundblad (2014) och Wilson m fl (2016). Vi har kompletterat med ytterligare publikationer, framförallt senare, som är relevanta för svenska förhållanden. Vid genomgången av litteratur har vi framför allt fokuserat på de poster som har störst påverkan på utfallet av beräkningarna; förändring av kolförråd i torv, samt avgång av metan efter återvätning.

Kapitel 3 behandlar trädens och trädutväxtens betydelse för klimatet. Där beskrivs de valda handlingsalternativens effekt på tillväxt och kolförråd i biomassan. Vidare diskuteras vad som mest sannolikt händer med samhällets användning av trädbiomassa om utbudet av virke från dikad mark minskar på längre sikt. Vi redovisar olika publicerade skattningar av klimatpåverkan av alternativa material samt energislag som potentiellt kan ersätta trädbiomassa, och resonerar kring hur mixen av alternativa material och alternativ energiproduktion kan komma att förändras över tid.

I kapitel 4 jämförs påverkan på växthusgasbalanser för de olika handlingsalternativen i 100-års- respektive 20-årsperspektivet, baserat på genomgången i kapitel 2 och 3.

I kapitel 5 tar vi upp några av de kunskapsluckor vi har identifierat under arbetets gång.

## 2 Skattningar av kol- och växthusgasflöden för marken

### 2.1 Poster i markens växthusgasbalans

#### Förändring av kolförråd i mark

Figur 2.1 visar de viktigaste flödena av växthusgaser för en skoglig dikad torvmark. De flöden som påverkar storleken på markens kolförråd är:

- nedbrytning (heterotrof respiration) av färsk förna och äldre organiskt material, till exempel torv
- produktion av förna från träd och vegetation ovan jord, från rötter under jord, samt från organismer
- transport av löst organiskt kol (DOC)

I marken bryts förna och torv ned och detta resulterar i heterotrof respiration. Om den heterotrofa respirationen är större än produktionen av ny förna över tid betyder det att det sker en minskning i markens kollager. Kolet från nedbrytningen lämnar marken främst via koldioxidavgång till luften men kan också lämna marken via grundvattenflöden. Kolhalten i markvattnet som lämnar en torvmark är oftast högre än halten i det vatten som transporteras till torvmarken.

Skattning av förändring i kolförråd i torv har främst gjorts med någon av följande två metoder:

1. Genom att skatta förändring i kolmängd i marken över tid, exempelvis ner till där mineraljorden börjar. Detta kan göras genom att mäta halten av kol och bulkdensiteten i torvskiktet vid olika tidpunkter, eller genom att jämföra torvskiktets tjocklek före respektive många år efter dikning och kombinera det med antaganden om att bulkdensiteten före dikning var densamma som den i likartade odikade torvmarker nu. Metoden innehåller osäkerheter då det finns risk för systematiska fel mellan tidpunkter, eller i gränsdragningen mellan torv- och mineraljordsskikt, som kan påverka resultatet.

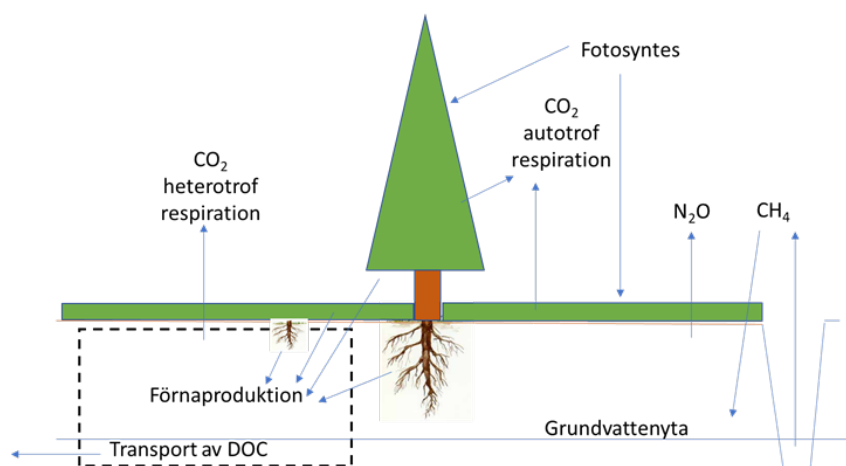
2. Genom att beräkna en massbalans utifrån mätningar av heterotrof respiration och skattningar och mätningar av förnaproduktion och transport av DOC. Metoden innehåller osäkerheter framför allt i hur stor andel av respirationen som är heterotrof, och i skattningen av de olika komponenterna i förnaproduktionen (särskilt omsättningen av rötter).

Den koldioxidavgång som sker från marken till atmosfären innehåller såväl kol från nedbrytning av torv och färsk förna, som kol från rötternas cellandning (autotrof respiration). Organiskt kol i grundvatten som lämnar torvmarken kommer från nedbruten torv, men också från nedbruten färsk förna och från högre liggande mark. Löst organiskt kol (DOC) som lämnar beståndet oxideras i stor utsträckning till koldioxid som avgår till atmosfären. IPCC räknar som grundvärde med att 90 % av det DOC som lämnar beståndet avgår till atmosfären (IPCC 2013).

Löst oorganiskt kol (dissolved inorganic carbon, DIC) löser sig i grundvattnet och avgår som koldioxid till luften när kolsyretrycket minskar. Detta kol kommer både från autotrof respiration och från nedbrytning (heterotrof respiration). Vi inkluderar inte DIC här på grund av att det är en liten post samt att det är svårt att hitta tillförlitliga data för denna post idag. På grund av att det är svårt att hitta tillförlitliga data inkluderar vi inte heller vattentransport av löst metan (se till exempel IPCC 2013), även det en liten post.

Det är inte möjligt att dra en helt skarp gräns mellan autotrof och heterotrof respiration i och med att trädens rötter är sammankopplade med markens mykorrhiza. I praktiska experiment kan dock gränsen dras genom att man stänger av trädens och vegetationens cellovandring så att man bara mäter den heterotrofa respirationen. Detta kan ske genom ringbarkning av träden på ytan (fast då har man fortfarande kvar markvegetationen). Ett annat sätt är att man skär av de rötter som går in till ytan där mätning görs, i kombination med att markvegetationen på ytorna tas bort. Då ökar nedbrytningen av de rötter man dödar i förtid. Nettoeffekten av den förändringen behöver man skatta för att kunna använda mätvärdena till en skattning av nedbrytningen. Det kvarstår emellertid en osäkerhet i hur väl omsättningen i marken i dessa fall speglar den verkliga omsättningen.

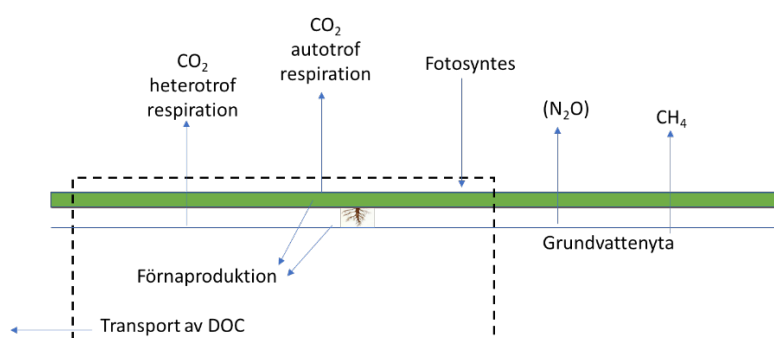
Förutom de två metoderna (1 och 2) för att skatta markens kolbalans som nämnts ovan finns också ett fåtal studier där man använt en tredje metod. Här har man mätt kolbalansen för hela ekosystemet (Net Ecosystem Exchange) inklusive vegetation och träd, med så kallad Eddy flux-teknik. Parallellt har man skattat hur mycket kol som tagits upp i biomassan. Sedan har man skattat förändringen i markens kolförråd som skillnaden mellan 'Net Ecosystem Exchange' och upptaget i biomassa.



Figur 2.1. Växthusgasbalans för dikad skoglig torvmark. Pilar symboliserar flöden och den streckade boxen symboliserar markens kolförråd. De pilar som går in i eller ut ur den streckade boxen påverkar boxens storlek. Om utflödet är större än inflödet till boxen minskar kolförrådet i marken över tid. Pilarnas längd är inte proportionell mot flödenas storlek. Ett dike finns längst till höger i figuren.

De emissionsfaktorer som sammanställts av IPCC för markens kolbalans för odikad torvmark och efter återvätning av dikad mark, baseras på den totala kolbalansen för marken inklusive vegetation (figur 2.2). Notera att detta avser marker som inte är beskogade med träd. Emissionsfaktorerna beskriver alltså det totala koldioxidutbytet för mark och vegetation inklusive fotosyntes och autotrof respiration

(Net Ecosystem Exchange). Detta innebär att om mängden vegetation är konstant över tid och omsättningen i marken är långsammare än förnatillförseln, blir marken en sänka för koldioxid. Om omsättningen i marken istället är snabbare än förnatillförseln, blir marken en källa till koldioxid. Om mängden vegetation minskar under en övergångsperiod efter återvätning kan detta göra att marken inklusive vegetationen blir en källa till koldioxid. Detta gör att resultat från korttidsstudier efter en återvätning bör tolkas med försiktighet (IPCC 2013, Wilson 2016).



Figur 2.2 Växthusgasbalans för odikad torvmark och efter återvätning av dikad torvmark. Pilar symboliserar flöden. Flöden till och från den streckade boxen inkluderas i de emissionsfaktorer som anges av IPCC. Om tillflödet till boxen är större än utflödet ökar torv- och biomassalagret, och vice versa. Pilarnas längd är inte proportionell mot flödenas storlek. Lustgas anges inom parentes eftersom flödet är litet.

### Avgång av lustgas från mark

Vi räknar om lustgas ( $N_2O$ ) till koldioxidekvivalenter.

För 100-årsperspektivet ( $GWP_{100}$ , IPCC 2013) används:

$$\text{lustgas (ton/ha, år)} * 298 = \text{koldioxidekvivalenter (ton/ha, år)}$$

För 20-årsperspektivet ( $GWP_{20}$ , IPCC 2013) används:

$$\text{lustgas (ton/ha, år)} * 268 = \text{koldioxidekvivalenter (ton/ha, år)}$$

Vi räknar konsekvent med omräkningsfaktorer som är inklusive klimat-återkopplingsmekanismer i kolcykeln, eftersom vi följt IPCC:s rekommendation att detta sannolikt ger det mest korrekta värdet. Det varierar mellan olika studier huruvida man räknar med eller utan återkopplingsmekanismer. För lustgas i 100-årsperspektivet innebär det antingen en faktor 298 (som här) eller en faktor 265 (utan återkopplingsmekanismer). Vår känslighetsanalys (visas inte i rapporten) visar att det inte har betydelse för slutsatserna i denna rapport om vi räknar med eller utan återkopplingsmekanismer.

### Avgång och upptag av metan i mark

Vi räknar om metan ( $CH_4$ ) till koldioxidekvivalenter.

För 100-årsperspektivet ( $GWP_{100}$ ) används:

$$\text{metan (ton per hektar och år)} * 34 = \text{koldioxidekvivalenter (ton per hektar och år)}$$

För 20-årsperspektivet ( $GWP_{20}$ ) används:

$$\text{metan (ton per hektar och år)} * 86 = \text{koldioxidekvivalenter (ton per hektar och år)}$$

Vi räknar konsekvent med omräkningsfaktorer som är inklusive klimat-återkopplingsmekanismer i kolcykeln eftersom vi följt IPCC:s rekommendation att detta sannolikt ger det mest korrekta värdet. Det varierar mellan olika studier huruvida man räknar med eller utan återkopplingsmekanismer. För metan i 100-årsperspektivet innebär det antingen en faktor 34 (som här) eller en faktor 28 (utan återkopplingsmekanismer). Vår känslighetsanalys (visas inte i rapporten) visar att det inte har betydelse för slutsatserna i denna rapport om vi räknar med eller utan återkopplingsmekanismer.

## 2.2 Växthusgasflöden för dikad torvtäckt skogsmark

### Markens kolbalans i tempererad zon

För markens kolbalans i dikad torvmark som är skogsmark i tempererad zon angav IPCC en emissionsfaktor (faktor som beskriver nettoavgivningen av koldioxid från marken till följd av nedbrytning) på i genomsnitt 9,5 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år (IPCC 2013, Wilson m fl 2016). På grund av att antalet tillgängliga studier var begränsat för skogsmark i tempererad zon, gjorde IPCC ingen åtskillnad mellan näringsfattig och näringsrik mark. IPCC:s emissionsfaktor är framräknad som heterotrof respiration minus förnaproduktion. För förnaproduktion använder IPCC en schablon baserat på ett fåtal studier (IPCC 2013). Emissionsfaktorn för dikad torvmark som är skogsmark i tempererad zon baseras på fem publikationer varav två från Sverige och en från Finland. En relevant uppsats som tillkommit efter den genomgång som gjordes av IPCC är Meyer m fl (2013), med data från ett granbestånd på dikad tidigare jordbruksmark i sydvästra Sverige. Dessutom har det tillkommit ekosystemmodelleringar och ytterligare data från samma lokal (He m fl 2016, Kasimir m fl 2018, Ernfors m fl 2020). Det har även tillkommit data från dikade kärr med glasbjörk i Estland (Uri m fl 2017).

Kvaliteten och detaljeringsgraden på data har utvecklats över tid. Glenn m fl (1993), Salm m fl (2012) och Yamulki m fl (2013) rapporterade endast total respiration och har alltså inte gjort någon separation av autotrof och heterotrof respiration. Salm m fl (2012) ingick inte i IPCC:s sammanställning.

Von Arnold m fl (2005a, b) rapporterade resultat från sammanlagt fem olika lokaler med dikad torvmark inom Asa försökspark, där mätningar gjordes under två eller tre års tid. På två lokaler var skogen grandominerad och på en lokal talldominerad. Kvoten mellan kol och kväve i marken kan användas som indikator på hur näringsrika förhållandena är; en låg kol/kvävekvot indikerar mer näringsrika förhållanden. Kol/kvävekvoten varierade mellan 26 och 28 på de grandominerade lokalerna medan den talldominerade lokalen hade en kol/kvävekvot på 40. Dessutom ingick en björkdominerad lokal och en lokal dominerad av klibbal. Kol/kvävekvoterna var här 22 respektive 16. Medelgrundvattenytan under året på de olika lokalerna var mellan 15 och 27 cm under markytan.

Man antog att 50 % av respirationen var autotrof respiration från trädens rotandning (baserat på bland annat Silvola m fl 1996). Man korrigerade därför den totala markrespirationen med en faktor 0,5. Resultaten indikerade att avgången av koldioxid från mark från nedbrytning (heterotrof respiration) var mellan 6,1 och

7,2 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Man inkluderade inte någon kvantifiering av förna-  
produktion. Resultatet är därför inte direkt jämförbart med IPCC:s emissionsfak-  
tor.

Meyer m fl (2013) separerade autotrof och heterotrof respiration genom att skära  
av ingående rötter runt de ytor där mätning gjordes, i kombination med att mark-  
vegetationen på ytorna togs bort. Mätning gjordes med klimatkammare. Man  
mätte förna-  
produktionen från träden och skattade en normal förna-  
produktion från  
rötter i marken. Vidare skattade man bidraget till den mätta markrespirationen  
från nedbrytning av avskurna rötter. Sammanfattningsvis innebar detta att man  
kunde rapportera ett värde på markens kolbalans som går att jämföra med IPCC:s  
medelvärde.

Mätningarna gjordes under ett år i Skogaryd i sydvästra Sverige, en lokal med ti-  
digare dikad jordbruksmark som beskogats med gran på 1950-talet. Kol/kväve-  
kvoten var här 23-27 och djupet till grundvattenytan varierade under året mellan  
38-63 cm. Torvnedbrytningen skattades här till 30 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år.  
Detta är väsentligt högre än det medelvärde som rapporterats av IPCC för skogs-  
mark, men i samma storleksordning som IPCC:s värde för jordbruksmark (29 ton  
CO<sub>2</sub> per hektar och år) i tempererad zon.

Ekosystemmodellering av upptag och förluster av växthusgaser i Skogaryd under  
60 år, från plantering till avverkningsmogen skog, indikerade att avgång av koldi-  
oxid och lustgas från marken var större än upptaget i skog, inräknat effekten av  
uttag vid gallring. Under den del av omloppstiden då tillväxten i skog var som  
högst var upptaget i skog större än avgången från mark, men sett till hela om-  
loppstiden var avgången större än upptaget. Ekosystemmodellering av alternati-  
ven dikesrensning och fortsatt skogsbruk, eller återvätning, indikerade att  
återvätning minskar emissionerna av växthusgaser från marken med 22 ton CO<sub>2e</sub>  
per hektar och år. Modellen kalibrerades till mätdata på biomassa i träd och vege-  
tation (He m fl 2016).

Ytterligare mätningar av växthusgasflöden på lokalen i Skogaryd rapporterades av  
Ernfors m fl (2020). De rapporterade en total avgång (autotrof + heterotrof respi-  
ration) av 76 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Författarna menar att förklaringen till den  
höga avgången dels är att det blir ett stort bidrag från autotrof respiration på en lo-  
kal med så stort stående virkesförråd, men också att de högautomatiska klimat-  
kammare man använt bättre fångar gasflödet, jämfört med tidigare studier.

Uri m fl (2017) mätte markens kolbalans på fem dikade torvmarker med glasbjörk  
i åldrarna 12 till 78 år i östra Estland. Medelgrundvattenytan under året var ca 40  
cm under markytan. Man använde liknande metoder som Meyer m fl (2013) och  
separerade autotrof och heterotrof respiration genom att skära av ingående rötter  
runt de ytor där mätning gjordes, i kombination med att markvegetationen på  
ytorna togs bort. Man mätte förna-  
produktion från träden och från markvegetation,  
och kombinerade mätningar och skattningar av förna-  
produktionen från rötter.  
Man skattade även bidraget till den mätta markrespirationen från nedbrytning av  
avskurna rötter. Resultaten visade att marken var en källa till koldioxid och att av-  
givningen var 8,8 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Författarnas slutsats var att detta in-  
dikerade en pågående torvnedbrytning.



Förutom skattningen av ekosystemets kolbalans (net ecosystem exchange) med ovan nämnda metoder gjorde Meyer m fl (2013) även mätning med Eddy flux-teknik. Detta gjorde att man kunde jämföra skattningen av 'net ecosystem exchange' med ovan nämnda metoder och med resultatet från Eddy flux-mätningarna. Skattningarna visade på en kolbalans för ekosystemet (inklusive vegetation och träd) på -2,0 ton C per hektar och år med Eddy flux-tekniken och -0,2 ton C per hektar och år med den förstnämnda metoden. Eftersom lokalen ligger i en svacka har man bedömt att Eddy flux-tekniken kan ge en viss underskattning. De två oberoende metoderna resulterade således i likartade skattningar av markens kolbalans.

***Sammantaget för markens kolbalans i tempererad zon*** är underlaget begränsat till ett fåtal studier. Det är tydligt att skattningarna av koldioxidavgång från tidigare jordbruksmark i södra Sverige i de studier som inkluderas ovan är väsentligt högre än det medelvärde som anges av IPCC. Baserat på genomgången av data är vår bedömning att analyserna i denna rapport bör göras dels med både IPCC:s medelvärde på 9,5 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, dels med 30 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år som ett exempel på kolbalans på en före detta jordbruksmark som inte är extremt bördig men som i gengäld är mycket väl dränerad.

För mer näringsfattig mark i tempererad zon bedömer vi det som troligt att värdena på förändring av kolförråd närmar sig samma storleksordning som värden i den övre regionen av vad som i genomsnitt rapporterats för näringsrik mark i boreal zon (dvs ca 3 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år). Vi bedömer det som mer rättvisande att använda ett mycket grovt skattat värde på 3 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för mer näringsfattiga marker i tempererad zon, än att använda ett enda medelvärde för tempererad zon, vilket med största sannolikhet innebär en över-skattning för de mer näringsfattiga markerna.

### **Markens kolbalans i boreal zon**

För markens kolbalans i dikad torvmark som är skogsmark i boreal zon angav IPCC en emissionsfaktor på i genomsnitt 3,4 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsrik och 0,9 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsfattig mark (IPCC 2013, Wilson m fl 2016). IPCC:s emissionsfaktor är framräknad som heterotrof respiration minus förnaproduktion. För förnaproduktion använder IPCC en schablon baserat på ett fåtal studier (IPCC 2013). En relevant uppsats som tillkommit efter den genomgång som gjordes av IPCC är Minkkinen m fl (2018), med uppföljande mätningar från en dikad mosse i södra Finland. Det finns även ett par tidigare uppsatser (Moilanen m fl 2012, Väisänen m fl 2013) som inte tagits med av IPCC men som inkluderas här.

Minkkinen och Laine (1998) mätte torvens tjocklek och halten av kol på 273 mätplatser i Finland, på representativa dikade och odikade torvmarkstyper. Dikningen hade gjorts på 1930-talet. Deras huvudslutsats var att torven efter dikning sjunkit ihop som ett resultat av framför allt fysiska förändringar i vattenhalt. Genom att använda kolinnehåll från odikade torvmarker som approximation för kolinnehållet före dikning på de dikade objekten skattade man att förrådet av kol uttryckt som kg/m<sup>2</sup> i genomsnitt hade ökat sedan dikning, vilket författarna förklarade med att tillförsel från det växande trädbeståndet, framför allt i form av finrötter, ökat. En

möjlig felkälla är att dikade torvmarkerna i genomsnitt såg annorlunda ut före dikning än de kvarvarande odikade, till exempel i form av något högre humifieringsgrad.

Minkkinen m fl (1999) rapporterade resultat från en myr i centrala Finland med dikade och odikade partier. Grundvattenytan på dikade partier varierade mellan 26–41 cm under markytan. Resultaten visade att vegetationen förändrats tydligt efter dikning och särskilt i de minerotrofa delarna hade vitmossor ersatts av skogsmossor. I mossedelarna av myren var vegetationsförändringen mindre efter dikning. Markens kolbalans efter dikning räknades ut som skillnaden mellan mängd markkol i dikade och odikade partier med liknande egenskaper, inklusive skillnader i torvtjocklek och densitet. Resultaten indikerade att dikad mark på näringsrikare (minerotrofa) partier var en källa till koldioxid, medan dikad mark på näringsfattiga (mosse) partier var en sänka.

Lohila m fl (2011) mätte Net Ecosystem Exchange med Eddy flux under 16 månader på en dikad beskogad mosse utanför Loppi i södra Finland (kol/kväve-kvot 34 – 41, djup till grundvattenytan 35–40 cm). Man mätte och skattade också upptaget av kol i träden och i trädens rötter. Mätningarna visade att nettoutbytet var negativt, vilket betyder nettoupptag av koldioxid, och att träden inte kunde förklara hela upptaget. Författarnas slutsats var att ca 2,4 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år måste ha tagits upp i marken, som förna från träd eller vegetation.

Resultat från fyra års mätningar med liknande metoder på samma mosse rapporterades av Minkkinen m fl (2018). Resultaten bekräftade ett upptag av ca 2,2 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år i marken. Huvudförklaringen var enligt författarna att grundvattenytan efter dikning inte låg djupare än 35–40 cm vilket gjorde att nedbrytningen av torv gick långsamt. Dräneringen bedömdes dock vara tillräcklig för att skogen skulle växa och producera förna. Skogen var i genomsnitt 120 år gammal på denna mosse och dikningen hade gjorts för 35 år sedan. Författarna betonar att för att bedöma om marken är en sänka på lång sikt behöver mätningar göras av kolbalansen i ungsogsfasen och modelleringar behöver göras som sträcker sig över flera omloppstider.

Moilanen m fl (2012) mätte heterotrof respiration med mörka klimatkammare på en dikad torvmark utanför Åbo i Finland med ett glest trädskikt av tall och glasbjörk. Autotrof respiration separerades genom att trycka ned stålcyllindrar och vegetation och färsk förna togs bort från de ytor där mätning gjordes. Mätning gjordes under 1 år men mättillfällena var ganska få och det uppskattade årsvärdet på 8,7 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år ligger något lägre än motsvarande värden rapporterade i andra uppsatser. Denna uppsats ingick inte i IPCC:s sammanställning.

Simola m fl (2012) skattade förändring i markens kolförråd på 37 st dikade skogliga torvmarker i Finland genom att provta provpunkter mycket nära där tidigare mätningar gjordes på 1980-talet och jämföra kolmängderna ner till mineraljorden. Mätningarna visade att samtliga lokaler förlorat kol från marken efter dikning. Storleksordningen stämde enligt författarna väl överens med de värden på heterotrof respiration som mätts upp i andra uppsatser (till exempel Ojanen m fl 2010).

Väisänen m fl (2013) mätte respiration på tre dikade torvmarker med glasbjörk i Finland. Vegetationen på ytorna där mätning gjordes togs bort och mätning gjordes med mörka klimatkammare. Värdena representerar därmed ett mellanting mellan heterotrof och total respiration där det finns risk att man får med en del av den autotrofa respirationen från träd (i och med att inga stålcyllindrar användes). Resultaten visade på en avgång på mellan 17 och 25 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Denna uppsats ingick inte i IPCC:s sammanställning.

Ojanen m fl (2010; 2013) mätte markens kolbalans på 68 st dikade torvmarker från södra Finland upp till Österbotten, med vegetationstyperna högört/lågört, blåbärstyp 1 och 2, lingontyp 1 och 2 samt fattigris. Medelgrundvattenytan varierade på olika lokaler mellan 1-80 cm under markytan. Mätningar gjordes under maj-oktober under 2 år och extrapolerades till helår med en temperaturfunktion.

För att separera heterotrof respiration skars ingående rötter av med stålcyllindrar runt de ytor där mätningar skulle göras (6–12 månader före mätning) och vegetationen och det färska förnalagret togs bort. Mätningar gjordes med mörka klimatkammare.

Man mätte och beräknade också tillskott av kol till marken med förna från träd, vegetation och rötter. Kolbalansen räknades ut som nettot mellan avgång genom heterotrof respiration och ett huvudsakligen modellerat tillskott av förna på ytorna där mätningarna gjordes. Resultaten går alltså att jämföra med IPCC:s medelvärde.

Resultaten styrker att nettoavgången av koldioxid från mark minskar i en gradient från högört/lågört till fattigris. Enligt skattningarna avger dikad mark på örttyper och blåbärstyper koldioxid (i genomsnitt 1,3–3 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år). Näringsrika väl-dränerade dikade marker i södra Finland avger ca 10 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Den dikade marken på lingontyper och fattigristyp beräknas däremot ta upp kol, i genomsnitt -1,6 till -0,1 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, då tillskottet av förna är större än den uppmätta förlusten genom nedbrytning.

Ojanen m fl (2013) poängterar att de kolbalanser som skattats är en beskrivning av situationen under den del av omloppstiden när man har ett växande trädbestånd, dvs när tillskottet av förna från träd och vegetation är högt. I början av omloppstiden (hyggesfasen) kommer tillskottet av förna från beståndet att vara lågt. De menar därför att en bedömning eller modellering behöver göras för hela omloppstiden.

Flera av studierna indikerar att dikningen inte medför ökad nedbrytning av torv på magra marker i boreal zon (Minkinen och Laine 1998, Lohila m fl 2011, Ojanen m fl 2013). Den höga grundvattenytan och syrebristen är en starkt bidragande faktor till torvförekomsten. Ökad syretillförsel borde därmed ge en ökad torvnedbrytning, om än långsam och kanske med en initial omställningsfas. Samtidigt styrs nedbrytning inte bara av syretillgång utan även av pH, näringstillgång, temperatur etc. Det kan, som nämnt ovan, finnas felkällor som delvis kan förklara en del av resultaten, men det är trots all tre olika metoder som pekar i samma riktning. Frå-

geställningen anknyter till den diskussion som finns om vad som styr humuslagrets tjocklek i (nordlig) boreal skog; om det är temperatur- och fuktighetsförhållandena och andra ståndortsfaktorer i sig eller om det är skogsbränder.

***Sammantaget för markens kolbalans i boreal zon*** finns underlag från ett tiotal studier från Finland. Sammanlagt innehåller studierna resultat från ca 50 olika lokaler. Resultaten indikerar att från mer näringsrik boreal dikad mark sker en avgång av koldioxid på i genomsnitt i storleksordningen 1,0–3,0 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Från näringsrika väl-dränerade marker i södra Finland indikerar resultaten en avgång på 10 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. För de näringsrika markerna har vi därför bedömt det som rimligt att använda både ett lågt värde på 1,0 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, ett medelvärde på 2,0 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, samt ett högt värde på 10 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år.

På mer näringsfattig boreal dikad mark med växande skog indikerar skattningarna att det sker ett nettoupptag av kol i storleksordningen -1,6–0 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år.

### Transport av DOC från dikad mark

För transport och oxidation av DOC från dikad torvmark som är skogsmark angav IPCC (2013) värdena:

- Tempererad: 1,1 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år
- Boreal: 0,4 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år

Värdena bygger på en uttransport av DOC från naturliga torvmarker på 0,08 ton C per hektar och år för boreal och 0,21 ton C per hektar och år för tempererad *odikad* mark, samt en generell tilläggsfaktor på + 0,6 för effekten av dikning (dvs en ökning med 60 % som en effekt av dikningen), och ett antagande att 90 % av det DOC som transporteras ut med vatten från torvmarken oxideras och avgår som koldioxid till atmosfären.

Värdena för odikade marker baseras på ca 10 uppsatser från Sverige, Finland och Kanada för boreal zon (bland annat Ågren m fl 2008) samt ca 15 uppsatser från Kanada, USA, Storbritannien och Irland för tempererad zon. Spannet i resultat är ca 0,04–0,16 ton C per hektar och år för boreal zon och ca 0,05–0,29 ton C per hektar och år för tempererad zon. Denna storleksordning (0,12 ton C per hektar och år) på export av kol från torvmarksdominerade avrinningsområden i norra Sverige har även bekräftats av senare studier (Leach m fl 2016).

Värdet på förväntad effekt av dikningen baseras på 11 uppsatser där man mätt halter av DOC före och efter dikning (eller på en dikad mark och en närliggande odikad kontroll). I genomsnitt visade alltså IPCC:s sammanställning att halten av DOC ökat med 60 % efter dikning. Man använde endast haltökningen, dvs man tog inte hänsyn till eventuella skillnader i flöde före och efter dikning. Detta är en osäkerhet som vi bedömer gör att det kan finnas lokaler som kan avvika från medelvärdet.

Som en jämförelse kan nämnas att den genomsnittliga uttransporten av DOC från dikade torvmarker i Finland var 0,10–0,15 ton C per hektar och år (Minkkinen m

fl 2018), dvs värdet på  $0,08 + (0,6 \cdot 0,08) = 0,13$  ton C per hektar och år som IPCC använder stämmer väl med detta resultat.

Värdet på hur mycket av det DOC som transporterats ut från torvmarken som sedan avgår som koldioxid baserades på att en stor andel av det DOC som försvinner avgår som koldioxid antingen inom avrinningsområdet (tex Algesten m fl 2003) eller om detta DOC når havet (till exempel Bianchi 2011). Studier har också visat att DOC från torv lättare bryts ned med hjälp av solljus (till exempel Köhler m fl 2002). Resultat från Algesten m fl 2003 indikerade att 90 % av det DOC som försvann i större avrinningsområden avgick som koldioxid, medan 10 % inlagrades i sediment.

***Sammantaget för transport och oxidation av DOC***, är vårt intryck att de storleksordningar som anges av IPCC är rimliga. Det kan dock finnas enskilda lokaler som avviker, till exempel beroende på hur avrinningens mönster förändras efter en dikning. Vi har bedömt att det är acceptabelt att använda IPCC:s medelvärden, dvs 1,1 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för tempererad zon respektive 0,4 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för boreal zon, för den typ av beräkningar som görs i denna rapport.

### **Avgång av lustgas från dikad mark**

För avgång av lustgas från dikad torvmark som är skogsmark angav IPCC (2013) i 100-årsperspektivet medelvärdena:

- Tempererad: 2,6 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsrik: 3,0 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsfattig: 0,2 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Värdena baserades på fem publikationer för tempererad zon (Sikström m fl 2009, von Arnold m fl 2005 a och b, Weslien m fl 2009, Yamulki m fl 2013), alla utom en från Sverige. För boreal zon baserades värdena på totalt ca 20 publikationer och man bedömde därför att det fanns tillräckligt underlag för att göra en indelning mellan näringsrik och näringsfattig mark.

Flera uppsatser, bland annat Klemedtsson m fl (2005) och Ernfors m fl (2007) har visat på betydelsen av näringsstatus för avgång av lustgas. Bildning av lustgas gynnas av god tillgång på kväve och förhållanden som inte är optimala för nitrifikation eller denitrifikation, eftersom lustgas är en intermediär produkt i dessa processer. Varierande grundvattenytta, det vill säga inte helt syrefria förhållanden, och hög tillgång på kväve i förhållande till växtupptag leder till hög lustgasbildning. Detta gör också att avgång av lustgas varierar i tid och rum vilket ställer höga krav på upplösning av de mätningar som görs (mätningar måste göras med tillräckligt täta tidsmässiga intervall och på tillräckligt många mätplatser för att fånga upp variationen).

I de uppskalningar för Sverige som gjorts av bland annat Ernfors m fl (2007) har man använt kol/kvävekvot som en indikator på lustgasbildning. Man hittar samband mellan kol/kvävekvot och avgång av lustgas, där avgivningen ökar vid en kol/kvävekvot under 25 och stiger brant vid en kol/kvävekvot runt ca 20 (Klemed-

tsson m fl 2005). De högsta värdena man inkluderat har varit en avgivning motsvarande ca 9 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, på lokaler med kol/kvävekvote på ca 15 och med en tidigare jordbrukshistorik. Ojanen m fl (2010) noterade inte detta samband för skogsmark i Finland som inte hade någon historik av tidigare jordbruk. Det kan vara så att man behöver ha med kol/kvävekvote ner till ca 15 och lokaler med en tidigare historik av jordbruk i sina dataset för att det tydliga statistiska sambandet ska observeras.

Lindgren och Lundblad (2014) tog fram emissionsfaktorer för Sverige som inkluderade något fler uppsatser än IPCC (Klemedtsson m fl 2010 och Pearson m fl 2012 var inkluderade). Man noterade också att lustgasavgång snarare styrs av näringsförhållanden än av klimatzon. Differentiering bör därför framför allt göras mellan näringsfattiga och näringsrika marker.

Lindgren och Lundblad (2014) rapporterade medelvärdena:

Tempererad näringsrik: 6,2 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Boreal näringsrik: 3,0 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Tempererad och boreal näringsfattig: 0,2 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Några ytterligare referenser har tillkommit som inte togs med av IPCC eller Lindgren och Lundblad eller som publicerats senare (Salm m fl 2012, Meyer m fl 2013, Eickenscheidt m fl 2014, Väisänen m fl 2013, Maljanen m fl 2014, Mustamo m fl 2016).

***Sammantaget för lustgasavgång från dikad mark*** bedömer vi att jämförelse mellan sammanställningen i IPCC (2013), Lindgren och Lundblad (2014) samt data i de nya uppsatser som tillkommit indikerar att värdena för boreal zon är robusta medan det finns vissa skillnader i tempererad zon mellan sammanställningarna. För näringsfattig mark (kol/kvävekvote över 25) i både boreal och tempererad zon visar sammanställningarna att värden på 0,2 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år är rimliga, medan det för näringsrik mark är rimligt med värden på 3,0 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år för boreal zon och 5,0 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år för tempererad zon. De högre värden (9 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år) som rapporterats (Klemedtsson m fl, 2005, Weslien m fl, 2009) är mer ovanliga även om sådana värden kan observeras på marker med mycket låga kol/kvävekvote.

### **Avgång och upptag av metan från dikad mark**

För metan från dikad torvmark som är skogsmark behöver man dels beakta avgång från marken, dels från diken.

Bildning av metan sker vid syrefria förhållanden genom aktivitet av arkéer (arkebakterier), metanogener. Vid tillgång på syre oxideras metan av andra bakterier, metanotrofer. Dikning sänker grundvattenytan vilket missgynnar de organismer som är inblandade i produktion av metan, och gynnar de som kan oxidera metan. Sänkt grundvattenyta förändrar också vegetationen, vilket ofta bidrar till lägre metanavgång. Om grundvattenytan ligger på större djup än 30 cm bedömde Ojanen m fl (2010) att marken övergår från att vara en källa till metan, till att bli en sänka, dvs ett upptag av metan sker.

I diken har man i stället en metanvgång som ofta ligger ungefär i nivå med avgången från odikad torvmark (tex Roulet och Moore 1995, Schrier-Uijl m fl 2011). Diken utgör dock en begränsad andel av arealen.

IPCC (2013) skattade, genom att slå samman upptag i mark och avgång från diken, den genomsnittliga nettoavgången till:

- Tempererad: 0,27 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsrik: 0,25 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsfattig: 0,42 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Skattningen baserades på ca 20 uppsatser för avgång från dikad mark, och ca 10 uppsatser för avgång från diken, varav ett par från Sverige (von Arnold m fl 2005 a och b, Weslien m fl 2009). Arealen diken i de svenska och finska uppsatser som inkluderades utgjorde i storleksordningen 2–3 % av arealen. Detta bedömer vi som ett rimligt representativt värde. Ojanen m fl (2013) beräknade att med 40 m avstånd mellan diken och 1 meters dikesbredd kommer diken att utgöra 2,5 % av arealen.

**Tabell 2.1. [ton CO<sub>2</sub>e/ha, år] Sammanställning av värden för avgång och upptag av växthusgaser från dikad torvtäckt skogsmark. GWP 100. Positiva värden (+) anger avgång till atmosfären och negativa värden (-) anger upptag i marken.**

| Flöde   | Låg  | Medel | Hög |
|---|------|-------|-----|
| Förändring av kolförråd i mark tempererad zon           | 3,0  | 9,5   | 30  |
| Förändring av kolförråd i mark boreal zon näringsrik    | 1,0  | 2,0   | 10  |
| Förändring av kolförråd i mark boreal zon näringsfattig | -1,6 | -0,8  | 0   |
| Transport av DOC tempererad zon                         |      | 1,1   |     |
| Transport av DOC boreal zon                             |      | 0,4   |     |
| Avgång av lustgas tempererad näringsrik mark            |      | 5,0   |     |
| Avgång av lustgas boreal näringsrik mark                |      | 3,0   |     |
| Avgång av lustgas näringsfattig tempererad och boreal   |      | 0,2   |     |
| Avgång av metan tempererad zon                          |      | 0,3   |     |
| Avgång av metan boreal näringsrik mark                  |      | 0,3   |     |
| Avgång av metan boreal näringsfattig mark               |      | 0,4   |     |

Efter IPCC:s sammanställning har ytterligare uppsatser tillkommit (Maljanen m fl 2012, Salm m fl 2012, Meyer m fl 2013, Väisänen m fl 2013, Mustamo m fl 2016, Korkiakoski m fl 2019). Vår bedömning är att värdena därifrån ligger i samma storleksordning som IPCC (2013).

*Sammantaget för nettoavgång av metan från dikad mark* bedömer vi att det är rimligt att använda IPCC:s värden, som är 0,27, 0,25 och 0,42 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år för tempererad zon (all torvmark), och för boreal näringsrik respektive boreal näringsfattig torvmark.

## 2.3 Växthusgasflöden för odikad och återvätt torvmark

### Markens kolbalans i tempererad zon

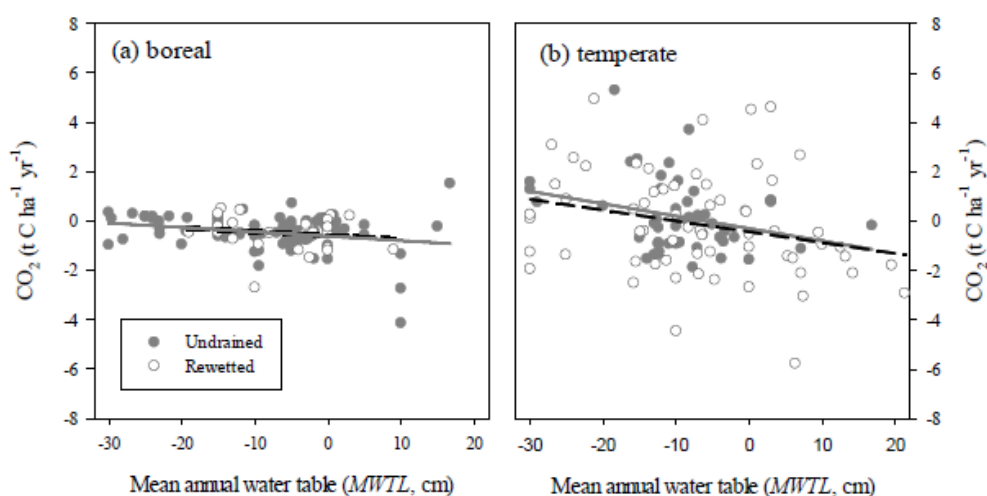
De emissionsfaktorer som sammanställts av IPCC för markens kolbalans efter återvätning baseras på den totala kolbalansen för marken inklusive vegetation. Emissionsfaktorerna beskriver alltså det totala koldioxidutbytet för mark och vegetation inklusive fotosyntes och autotrof respiration (Net Ecosystem Exchange). Notera att detta avser marker som inte är beskogade med träd. Om mängden vegetation är konstant över tid (mellan olika år) och omsättningen i marken är långsammare än förnatillförseln, blir då marken en sänka för koldioxid. Om mängden vegetation är konstant över tid och omsättningen i marken är snabbare än förnatillförseln, blir marken en källa till koldioxid. Om mängden vegetation minskar under en övergångsperiod efter återvätning kan detta göra att marken inklusive vegetation blir en källa till koldioxid. Avgörande för resultatet är om man efter en återvätning lyckas få en etablering av vegetation som gör att man återskapar förhållandena som rådde i torvmarken innan dikning. En kritisk faktor för att uppnå detta är grundvattenytans läge.

För markens kolbalans efter återvätning i tempererad zon angav IPCC (2013) ett medelvärde på 0,5 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, baserat på 32 st publikationer, både från mark där återvätning genomförts och från naturlig torvmark. Korrelationer mellan grundvattenytans läge och avgång av koldioxid gav stöd för att man kunde använda resultat från mark där återvätning genomförts och från naturlig torvmark tillsammans. Samtidigt poängterade IPCC att värdet var ett medelvärde där flera uppsatser (tex Nagata m fl 2005, Wickland m fl 2001) visade en nettoavgång av koldioxid efter återvätning, men att detta var korttidsstudier som kunde ifrågasättas. IPCC menar att på lång sikt är det orimligt att naturliga våtmarker eller tidigare dikade våtmarker där återvätning genomförts avger koldioxid om markerna inte modifieras på något annat sätt av mänsklig aktivitet.

Wilson m fl (2016) gjorde en översyn och litteraturgenomgång, i vilken 29 st publikationer tillkom, förutom de som IPCC tidigare använt. Wilson m fl (2016) drog samma slutsats som, dvs att IPCC:s värde var orimligt, eftersom orsaken till att organiska jordar bildats på dessa platser är att det skett en ackumulering av organiskt material. Liksom IPCC använde man korrelationer mellan grundvattenytans läge och avgång av koldioxid som stöd för att man kunde använda både resultat från mark där återvätning genomförts och från naturlig torvmark (figur 2.3). Regressionslinjerna var likartade för dessa båda dataset, men spridningen i data var större efter återvätning än för naturliga torvmarker. Detta är förväntat eftersom vissa av studierna efter återvätning var korttidsstudier. Spridningen i data var även väsentligt större för mer näringsrika marker och för marker i tempererad zon, jämfört med boreal zon. Förklaringen till detta är sannolikt en större spridning i produktivitet och därmed rumslig variation, på mer näringsrika marker och i tempererad zon. Områden eller fläckar med högproduktiv vegetation kan ligga alldeles intill områden helt utan vegetation. Detta ger upphov till stor variation i markens



kolbalans. Spridningen gör också att vissa värden kommer att vara positiva (avgång av koldioxid).



Figur 2.3. Korrelationer mellan djup till grundvattenytan (cm, x-axeln) och nettoavgång av koldioxid (ton koldioxid-kol per hektar och år, y-axeln) för naturliga torvmarker (fyllda cirklar) och efter återvätning (ofyllda cirklar). Heldragen grå linje är regressionslinjen för naturliga våtmarker och streckad svart linje är regressionslinjen för marker efter återvätning. Resultat från boreal zon till vänster (a) och från tempererad zon till höger (b). Figurerna visar det data som ligger till grund för IPCC:s emissionsfaktor (IPCC 2013). Negativa värden på y-axeln innebär att det sker ett upptag av koldioxid och positiva värden att det sker en avgång. Reproducerad från Wilson m fl (2016).

Vi har gjort en skattning av ett intervall där vi enbart inkluderar de publikationer som tillkommit i Wilson m fl (2016), dvs vi tar inte med de uppsatser som fanns med i IPCC:s sammanställning och som i ett längre tidsperspektiv har bedömts ge orimliga värden. Det intervall vi skattar ligger mellan -5,5–1,8 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Medelvärdet är -0,5 ton C per hektar och år, eller -1,8 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Vi bedömer att detta medelvärde är en rimlig skattning av markens kolbalans efter återvätning, på längre sikt (20–100 år), under förutsättning att grundvattenytan efter återvätning ligger ca 5–20 cm under markytan. På kortare sikt (några få år) kan man förvänta sig en variation mellan olika marker och på vissa marker få en avgång av koldioxid från marken. Om grundvattenytan efter återvätning ligger djupare än ca 20 cm under markytan kan man förvänta sig att man mer permanent (även sett över längre tid) kan få en viss fortsatt avgång av koldioxid från marken.

**Sammantaget för markens kolbalans efter återvätning i tempererad zon** bedömer vi att de nya värden som sammanställts i Wilson m fl (2016) indikerar ett genomsnitt på ca -0,5 ton C per hektar och år, eller -1,8 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Intervallet för dessa studier är mellan -5,5–1,8 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Då har vi uteslutit de publikationer där IPCC och Wilson m fl (2016) bedömt att resultaten är orimliga på grund av att det gått för kort tid efter återvätningsåtgärden. Vi bedömer att det är rimligt att använda detta medelvärde i våra beräkningar.

## Markens kolbalans i boreal zon

För markens kolbalans efter återvätning i boreal zon angav IPCC ett värde på -1,25 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsfattig mark och -2,02 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsrik mark, baserat på 21 st publikationer, från mark där återvätning genomförts och från odikad torvmark.

Wilson m fl (2016) justerade dessa värden något till -1,5 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsfattig och -1,9 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsrik mark. Då hade man gjort en översyn och genomgång där ytterligare 29 st publikationer tillkommit, förutom de som IPCC tidigare använt. Man noterade en väsentligt mindre spridning för boreal zon, jämfört med tempererad zon, vilket gör dessa värden mer robusta (se figur 2.3).

***Sammantaget för markens kolbalans efter återvätning i boreal zon*** bedömer vi att de medelvärden som rapporterats av Wilson m fl (2016), dvs -1,5 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsfattig och -1,9 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för näringsrik mark, bör användas i våra beräkningar.

## Transport av DOC efter återvätning

För transport och oxidation av DOC efter återvätning angav IPCC (2013) värdena:

- Tempererad: 0,9 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år
- Boreal: 0,3 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år

Värdena bygger på en uttransport av DOC från naturliga torvmarker på 0,08 ton C per hektar och år för boreal och 0,21 ton C per hektar och år för tempererad zon, samt ett antagande att 90 % av det DOC som transporteras ut med vatten från torvmarken oxideras och avgår som koldioxid till atmosfären. Detta är samma värden som också använts för att räkna ut transport av DOC från dikad mark.

Dessa värden användes tillsammans med värden efter återvätning från 7 uppsatser. Alla dessa visade en lägre halt av DOC efter återvätning jämfört med i det dikade tillståndet. Den procentuella minskningen i DOC-halt efter återvätning var i genomsnitt 34 %. Vår bedömning är att på kort sikt (de första åren) efter en återvätning kan en ökning av uttransport av DOC förväntas i många fall, men de värden som anges här avser transporten på längre sikt.

Värdet på hur mycket av det DOC som transporterats ut från torvmarken som sedan avgår som koldioxid baserades på samma underlag som för den dikade marken.

***Sammantaget*** bedömer vi att de storleksordningar på uttransport av DOC och oxidation till koldioxid som anges av IPCC, dvs 0,9 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för tempererad zon och 0,3 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för boreal zon, är rimliga. Det kan dock finnas enskilda lokaler som avviker, tex beroende på hur avrinningens mönster förändras. På kort sikt (de första åren) efter en återvätning kan en ökning av uttransport av DOC förväntas, men de värden som anges här avser transporten på längre sikt. Vi har bedömt att det är acceptabelt att använda IPCC:s medelvärden för den typ beräkningar som görs i denna rapport.

### **Avgång av lustgas från odikad torvmark och efter återvätning**

För lustgas efter återvätning bedömde IPCC (2013) att det inte var någon avgång alls under förhållanden när grundvattenytan var mindre än 20 cm under markytan, baserat bland annat på resultat från Couwenberg m fl (2011). Det är helt klart att en kraftig minskning av lustgasavgången kan förväntas när grundvattenytan stiger efter en återvätning och att avgången kommer att vara en liten post i den totala växthusgasbalansen.

Wilson m fl (2016) bedömde att det underlag som fanns (totalt 18 uppsatser för tempererad och boreal zon) var för litet för att särskilja boreal och tempererad zon och för att särskilja olika markanvändningsslag (tex skogsmark, jordbruksmark, gräsmark). Man beräknade ändå att det i genomsnitt sker en viss avgång av lustgas även efter återvätning, motsvarande 0,03 ton CO<sub>2</sub>e/ha, år.

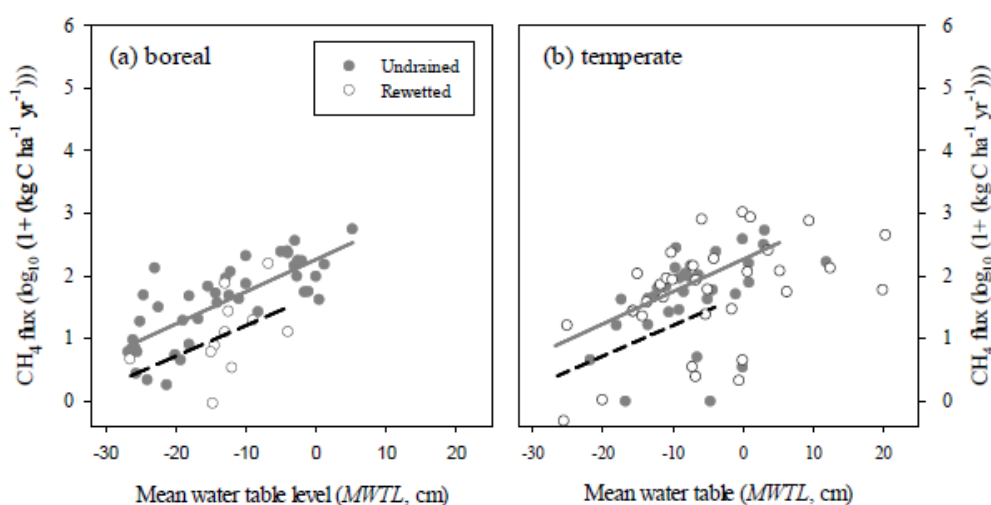
*Sammantaget för lustgasavgång från odikad eller återvätt mark* bedömer vi att det värde på 0,03 ton CO<sub>2</sub>e/ha, år som beräknats av Wilson m fl (2016) är det mest korrekta att inkludera i våra beräkningar. Vi har därför tagit med detta, även om det är en liten post som endast marginellt påverkar den totala växthusgasbalansen.

### **Avgång av metan från odikad torvmark och efter återvätning**

För avgång av metan efter återvätning angav IPCC (2013) i 100-årsperspektivet medelvärdena:

- Tempererad näringsrik: 9,8 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Tempererad näringsfattig: 4,2 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsrik: 6,2 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsfattig: 1,9 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Dessa emissionsfaktorer baserades på totalt 44 st uppsatser. Liksom för markens kolbalans efter återvätning användes data både från mark där återvätning genomförts och från odikad torvmark. Korrelationer mellan grundvattenytans läge och avgång av metan visade att avgången ökade när grundvattenytan låg mer ytligt i marken. Dessa korrelationer var likartade för odikad torvmark och efter återvätning (IPCC 2013, Wilson m fl 2016, figur 2.4).



Figur 2.4. Korrelationer mellan djup till grundvattenytan (cm, x-axeln) och nettoavgång av metan (kg metan-kol/ha, år, logaritmisk skala, y-axeln) för naturliga torvmarker (fyllda cirklar) och efter återvätning (ofyllda cirklar). Helledragen grå linje är regressionslinjen för naturliga våtmarker och streckad svart linje är regressionslinjen för marker efter återvätning. Resultat från boreal zon till vänster (a) och från tempererad zon till höger (b). Figureerna visar det data som ligger till grund för IPCC:s emissionsfaktor (IPCC 2013). Reproducerad från Wilson m fl (2016).

Wilson m fl (2016) använde data på metanavgång från ytterligare 25 st uppsatser, förutom de som använts av IPCC. Baserat på detta data angavs för 100-årsperspektivet medelvärdena:

- Tempererad näringsrik: 10,7 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Tempererad näringsfattig: 4,1 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsrik: 5,6 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år
- Boreal näringsfattig: 1,9 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Uppsatser där man studerat effekten av återvätning och som inkluderats i Wilson m fl (2016) men inte i IPCC 2013, samt relevanta senare uppsatser, har sammanställts i tabell 2.2. Värdena från IPCC och Wilson m fl (2016) kan också jämföras med de emissionsfaktorer som togs fram i en nationell inventeringskampanj av Nilsson m fl (2001) för svenska torvmarker. I kampanjen provtogs 60 % av de permanenta ytor som Riksskogstaxeringen har, för fyra av de vegetationstyper som finns framtagna i systemet för bonitering av torvmark: klotstarrtyp, rosling-tranbärstyp, lågstarrtyp och högstarrtyp. Den genomsnittliga avgivningen av metan varierade här mellan 2 ton CO<sub>2</sub>e/ha för näringsfattiga kärr (klotstarrtyp), 4 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år för tuvor (rosling-tranbärstyp), 7 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år för lågstarrtyp och 13 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år för högstarrtyp. Värdena ligger alltså i samma storleksordning som de värden som rapporterats av IPCC och Wilson m fl (2016).

Ett antal uppsatser har påvisat betydelsen av djupet till grundvattenytan för avgång av metan (tex Moore och Knowles 1990, Martikainen m fl 1992). Produktionen av metan är ofta högst ett par decimeter under den genomsnittliga grundvattenytan under året. Eftersom bildad metan kan oxideras av bakterier som lever i

den syresatta delen av torven, minskar avgång av metan från mark där djupet till grundvattenytan är större (Granberg m fl 1997). Granberg m fl (1997) studerade sex stycken representativa odikade svenska myrar. Medelgrundvattenytan under året låg där cirka 3–15 cm under markytan.

I vissa fall har man observerat mycket hög avgivning av metan från tidigare torvtäckter där återvätning genomförts, när grundvattenytan legat så högt att man skapat en vattenspegel, eller där grundvattenytan legat precis i markytan och fluktuerat mycket över året. Vanselow-Algan m fl (2015) observerade en avgivning motsvarande 22–51 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år vid mätning under 2,5 år på en mosse i Tyskland där torv brutits sedan slutet av 1800-talet och där återvätning genomförts på 1980-talet, så att grundvattenytan under året fluktuerade mellan ca -15 och +10 cm (Vanselow-Algan m fl 2015).

Det finns också resultat som visat på väsentligt lägre avgång av metan efter återvätning än genomsnittet. Komulainen m fl (1998) rapporterade en ökning i metanavgång efter återvätning av en mosse och ett kärr i södra Finland. Mätningar gjordes 1 år före och 2 år efter återvätning. Avgången av metan efter återvätning motsvarade 0,5–1,5 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år och låg klart under den nivå (i storleksordning 3–15 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år) som man tidigare observerat på odikade våtmarker med motsvarande egenskaper. Möjliga förklaringar till detta var enligt författarna att återvätningen innebar att syrerikt ytligt grundvatten tillfördes, vilket bidrog till oxidation av metan, samt att grundvattenytan under torra somrar låg djupare, vilket möjliggjorde oxidation av metan (Komulainen m fl 1998).

Inom en och samma torvmark finns ofta en stor rumslig variation i metanavgivning. Ofta är avgivningen lägre från tuvor än från höljor. En förklaring till detta är det större djupet till grundvattenytan på tuvorna. Variation i pH och substrattillgång bidrar också till stor rumslig variation i metanavgivning.

De medelvärden som anges av IPCC och i Wilson m fl (2016) representerar den metanavgivning man kan förvänta sig i genomsnitt vid en återvätning där man återställer våtmarker till den nivå som grundvattenytan hade före dikningen. Detta innebär ofta en grundvattenyta i genomsnitt under året som ligger ca 5–15 centimeter under markytan.

**Tabell 2.2. [ton CO<sub>2</sub>e/ha, år] Rapporterad avgång av metan (GWP 100, omräkningsfaktor = 34) efter återvätning i uppsatser som inkluderats i Wilson m fl (2016), samt relevanta senare uppsatser.**

|                 | Referens                 | Avgång CH <sub>4</sub> | Läge                     | Mättid (år)                             | Torvmarkstyp             | Djup till grundvattenytan (cm) |
|-----------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|---|--------------------------|--------------------------------|
| Tempererad      | Huth m fl 2013           | 6,3                    | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Kärr                     | ej angivet                     |
|                 |                          | 7,1                    | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Kärr                     | ej angivet                     |
|                 |                          | 16,2                   | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Kärr                     | ej angivet                     |
|                 | Koebisch m fl 2013       | 1,1                    | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Kärr, brackvatten        | 3,5                            |
|                 |                          | 0,1                    | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Kärr, brackvatten        | 11                             |
|                 |                          | 0,2                    | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Kärr, brackvatten        | 8,5                            |
|                 | Cooper m fl 2014         | 4,1                    | Wales                    | 3 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 3                              |
|                 | Beyer and Höper 2015     | 0,04                   | Tyskland                 | 2 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 13,5                           |
|                 |                          | 8,3                    | Tyskland                 | 2 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 4,1 cm över markytan           |
|                 |                          | 10,6                   | Tyskland                 | 2 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 14,1 cm över markytan          |
|                 | Vanselow-Algan m fl 2015 | 33,9                   | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 1,2 cm över markytan           |
|                 |                          | 21,6                   | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 0,8                            |
|                 |                          | 50,5                   | Tyskland                 | 1 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 2,7                            |
|                 | Järveoja m fl 2016       | 0,1                    | Estland                  | 1 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 2-52                           |
|                 |                          | 0,1                    | Estland                  | 1 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 8-59                           |
| Minke m fl 2015 | 4,0                      | Belarus                | 2 år, mätt hela året     | Kärr, tuvull-starr, tidigare torvtäkt   | 3                        |                                |
|                 | 5,6                      | Belarus                | 2 år, mätt hela året     | Kärr, starr-säv, tidigare torvtäkt      | 8 cm över markytan       |                                |
|                 | 14,5                     | Belarus                | 2 år, mätt hela året     | Kärr, bladvass-starr, tidigare torvtäkt | 14 cm över markytan      |                                |
|                 | 23,9                     | Belarus                | 2 år, mätt hela året     | Kärr, bredkaveldun, tidigare torvtäkt   | 10 cm över markytan      |                                |
|                 | 32,0                     | Belarus                | 2 år, mätt hela året     | Kärr, starr-lysing, tidigare torvtäkt   | 10 cm över markytan      |                                |
|                 | 36,7                     | Belarus                | 2 år, mätt hela året     | Kärr, bladvass, tidigare torvtäkt       | 104 cm över markytan     |                                |
| Boreal          | Komulainen m fl 1998     | 1,6                    | Finland                  | 3 år, mätt hela året                    | Mosse                    | ca 0-40                        |
|                 |                          | 0,7                    | Finland                  | 3 år, mätt hela året                    | Kärr                     | ca 0-40                        |
|                 | Lee m fl 2017            | 7,7                    | British Columbia, Canada | 1 år, mätt hela året                    | Mosse, tidigare torvtäkt | 7,7 cm över - 26,5 cm under    |

Förutom grundvattenytans läge, påverkas metanavgivning av temperatur och av vegetationens sammansättning. Komulainen m fl (1998) observerade att avgivning av metan var positivt korrelerad till temperatur efter återvätning, där grundvattenytan i markens stod högre, men negativt korrelerad till temperatur på dikad mark där grundvattenytan stod lägre. En förklaring kan enligt författarna vara att den högre temperaturen gynnar metanproduktion där grundvattenytan står högre, men i stället gynnar metanoxidation där grundvattenytan står lägre.

**Tabell 2.3. [ton CO<sub>2</sub>e/ha, år] Sammanställning av värden för avgång och upptag av växthusgaser för odikad torvmark och efter återvätning. GWP 100. Positiva värden (+) anger avgång till atmosfären och negativa värden (-) anger upptag i marken.**

| Flöde   | Medel |
|---|-------|
| Förändring av kolförråd i mark tempererad zon           | -1,8  |
| Förändring av kolförråd i mark boreal zon näringsrik    | -1,5  |
| Förändring av kolförråd i mark boreal zon näringsfattig | -1,9  |
| Transport av DOC tempererad zon                         | 0,9   |
| Transport av DOC boreal zon                             | 0,3   |
| Avgång av lustgas tempererad och boreal zon             | 0,03  |
| Avgång av metan tempererad näringsrik mark              | 10,7  |
| Avgång av metan tempererad näringsfattig mark           | 4,1   |
| Avgång av metan boreal näringsrik mark                  | 5,6   |
| Avgång av metan boreal näringsfattig mark               | 1,9   |

Metan avgår från mark genom diffusion, genom bildning av gasblåsor (ebullition) och genom transport genom kanaler (aerenchym) i växter. Exempel på växter som har sådana kanaler är starrarter och tuvull. Transporten genom växternas kanaler gör att metanet kan passera upp genom den syresatta delen av torven utan att oxideras där. Förekomst av vegetation med sådana kanaler påverkar därför storleken på metanavgången (till exempel Bubier 1995). Dessutom kan vegetationen påverka metanavgången genom att den påverkar tillgången på substrat.

**Sammantaget för avgång av metan från odikad torvmark och efter återvätning** finns ett underlag av ca 70 uppsatser. De flesta av dessa är från odikad torvmark och ett mindre antal (se tabell 2.2) är studier efter återvätning. Många av studierna efter återvätning är från tidigare torvtäkter. Vi bedömer att medelvärden (se tabell 2.3) som rapporterats av Wilson m fl (2016) är representativa för återvätningar där man återställer till den grundvattennivå som funnits i torvmarken före dikning, vilket ofta innebär en grundvattenyta som i genomsnitt under året ligger ca 5–20 centimeter under markytan.

## 2.4 Summering av markens växthusgasbudget

För att kunna jämföra huvudalternativen fortsatt trakthyggesbruk och dikesrensning, samt återvätning, har en summering gjorts av samtliga växthusgasflöden för respektive kategori av mark, baserat på värdena i tabell 2.1 och 2.3.

Summeringen gjordes enligt:

- förändring av kolförråd + transport av DOC + avgång av lustgas + avgång av metan

Nedan beskrivs hur summeringen av växthusgasbudgeten gjordes för respektive kategori av mark. Summeringen innebär också en enkel sammantagen känslighetsanalys för respektive kategori i och med att de värden som bedöms som mer osäkra varierar. De värden som anges nedan är för 100-årsperspektivet, men exakt samma tillvägagångssätt användes för 20-årsperspektivet.

### Dikad torvtäckt skogsmark

#### *Dikad näringsrik torvmark i tempererad zon*

Det minsta underlaget (antalet publikationer) och de största osäkerheterna bedöms finnas för markens kolbalans. Summering gjordes därför både med ett högt värde och med ett medelvärde för denna post. IPCC gjorde inte någon åtskillnad mellan näringsrik och näringsfattig dikad mark för markens kolbalans i tempererad zon, pga att underlaget var litet. Det har dock tillkommit uppsatser efter IPCC:s sammanställning, som vi tagit med här. Som medelvärde använder vi här IPCC:s medelvärde, vilket innebär att detta även är baserat på vissa data från mer näringsfattig mark. Att dra en skarpare gräns mellan mer näringsrik och mer näringsfattig dikad mark för markens kolbalans i tempererad zon är svårt med det underlag som finns idag. Vi har därför inte bedömt att det finns underlag för att göra någon skattning av ett lågt värde för markens kolbalans för näringsrik mark i tempererad zon. Övriga poster bedöms som mer robusta och här har medelvärden använts.

Summering högt värde:  $30+1,1+5,0+0,3=36$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Summering medelvärde:  $9,5+1,1+5,0+0,3=16$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### *Dikad näringsfattig torvmark i tempererad zon*

Det minsta underlaget (antalet publikationer) och de största osäkerheterna bedöms finnas för markens kolbalans. IPCC gjorde inte någon åtskillnad mellan näringsrik och näringsfattig mark för markens kolbalans i tempererad zon, pga att underlaget var litet. Vi bedömer det som mer rättvisande att använda ett mycket grovt skattat värde på 3 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för mer näringsfattiga marker i tempererad zon, än att använda ett enda medelvärde för tempererad zon, vilket med största sannolikhet innebär en överskattning för de mer näringsfattiga markerna. Övriga poster bedöms som mer robusta och här har medelvärden använts.

Summering:  $3,0+1,1+0,2+0,3=4,6$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### *Dikad näringsrik torvmark i boreal zon*



De största osäkerheterna bedöms finnas för markens kolbalans. Det saknas svenska studier på detta, men vi har bedömt att de finska studier som gjorts kan anses representativa för svenska förhållanden. För att täcka in den variation mellan olika marker som dessa studier visat gjordes summering med högt värde, medelvärde och lågt värde för markens kolbalans. Övriga poster bedöms som mer robusta och här har medelvärden använts.

Summering högt värde:  $10+0,4+3,0+0,3=14$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Summering medelvärde:  $2,0+0,4+3,0+0,3=5,7$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Summering lågt värde:  $1,0+0,4+3,0+0,3=4,7$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### *Dikad näringsfattig torvmark i boreal zon*

De största osäkerheterna bedöms finnas för markens kolbalans. Det saknas svenska studier på detta, men vi har bedömt att de finska studier som gjorts kan anses representativa för svenska förhållanden. För att täcka in den variation mellan olika marker som dessa studier visat gjordes summering med högt värde, medelvärde och lågt värde för markens kolbalans. Övriga poster bedöms som mer robusta och här har medelvärden använts.

Summering högt värde:  $0+0,4+0,2+0,4=1,0$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Summering medelvärde:  $-0,8+0,4+0,2+0,4=0,2$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

Summering lågt värde:  $-1,6+0,4+0,2+0,4=-0,6$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### **Torvmark efter återvätning**

Det finns vissa osäkerheter för samtliga poster men vi har bedömt att värdena är tillräckligt robusta för att medelvärden ska kunna användas (se ovan).

#### *Återvätt näringsrik torvmark i tempererad zon*

Summering:  $-1,8+0,9+0,03+11=9,8$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### *Återvätt näringsfattig torvmark i tempererad zon*

Summering:  $-1,8+0,9+0,03+4,1=3,2$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### *Återvätt näringsrik torvmark i boreal zon*

Summering:  $-1,5+0,3+0,03+5,6=4,4$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

#### *Återvätt näringsfattig torvmark i boreal zon*

Summering:  $-1,9+0,3+0,03+1,9=0,3$  ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år

## 3 Handlingsalternativens betydelse för klimatet via träden

### 3.1 På vilka sätt inverkar träden på klimatet?

Beroende på vilka åtgärder som genomförs på torvtäckt skogsmark i Sverige kan man få en påverkan på växthusgasbudgeten via träden på tre olika sätt; via förändring i kollagret i biomassan, via substitution av andra material och annan energi-produktion och via förändring i samhällets förråd av skogsprodukter.

Träden kan även påverka växthusgasbudgeten via påverkan på marken, exempelvis genom inverkan på grundvattennivån eller mikrobiologin. Sådan påverkan berörde vi i kapitel 2.

Efter avverkning kommer trädbiomassan i olika grad att fylla olika behov av produkter och energi i samhället där annars andra råvaror och energislag hade kunnat komma ifråga, vart och ett med en egen klimatprofil (avsnitt 3.4). För kollagren i biomassa bör man identifiera de förändringar som sker i medeltal över längre tid till följd av brukandet/hantering av skogen (avsnitt 3.3). Kollagret i skogsprodukter i samhället bör tas med eftersom de, så att säga, utvidgar utrymmet där lagerökning i trädbiomassa kan äga rum (se avsnitt 3.5).

Klimatet påverkas förutom av växthusgaserna också av förändringar i albedo (ytans relativa reflektion av kortvägig strålning) som i sin tur påverkas av vegetationen. Ju högre albedo en viss vegetation har, desto mer kylande effekt på klimatet. Tätare skog ger lägre albedo och barrskog ger lägre albedo än lövskog, eftersom den är mörkare. Den skillnad i klimatpåverkan som olika handlingsalternativ i skogsbruket medför på detta sätt bedöms vara liten jämfört med kollagerförändringar i ett längre tidsperspektiv, men av samma storleksordning i ett 20-årigt tidsperspektiv, för en lokal i Dalarna (Cherubini m fl 2018). I områden i Sverige utan vårvintrar med snö är albedofaktorn av mindre betydelse även i ett 20-årigt tidsperspektiv. Dess relativa påverkan på klimatet i förhållande till växthusgasbalansen minskar således där snötillgången minskar till följd av klimatförändringen (Brovkin m fl 2013). Vi beaktar av dessa skäl inte albedofaktorn vidare i den här utredningen.

### 3.2 Dikningens påverkan på tillväxt

Dikning av torvmark förväntades i normalfallet ge en ökning av träd-tillväxten. Till ledning för hur stor tillväxtökning som den historiska dikningen givit på olika typer av torvmarker kan man använda det boniteringssystem som tagits fram för torvmark, data från Riksskogstaxeringen över tillväxt på dikad och odikad torvmark för olika typer av torvmarker, samt data över tillväxt där dikena bedöms fungera väl och mindre väl.

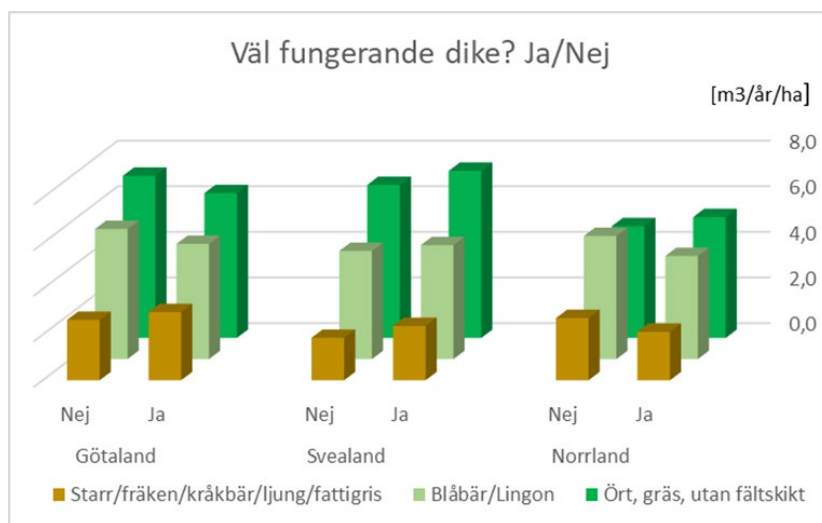
Inom kategorierna blåbär-fräkentyp och bättre ristyper med bl.a. lingon, odon och skvattram, dvs på mellanboniteterna, bedömde Hånell (2009) att tillväxtökningen efter dikning skulle kunna vara 2 - 3,5 m<sup>3</sup>sk per hektar och år. Effekten bör ha varit högst under de första decennierna efter dikning, då näringstillgången också är

som högst, och sedan sakta sjunka nedåt (jfr Hånell 1988). Sänkningen kan eventuellt motverkas i viss omfattning på marker där dikesrensning fungerar, dvs i olika grad på olika marker (jfr nedan).

**Tabell 3.1. Årlig tillväxt [ $m^3sk/ha/år$ ] på dikad och odikad torvmark som är produktiv skogsmark. Baserat på uppgifter från Riksskogstaxeringen 2003-2007. Grå siffror representerar arealer mindre än 10 000 ha där felet kan förväntas vara större.**

|            |        | Högört | Lågört | Blåbär | Högstarr | Bättre ris | Lågstarr | Sämre ris |
|------------|--------|--------|--------|--------|----------|------------|----------|-----------|
| N Norrland | odikat | 2,2    | 2,7    | 3,0    | 2,5      | 2,6        | 1,9      | 1,4       |
|            | dikat  | 2,7    | 4,1    | 4,5    | 8,4      | 4,6        | 2,2      | 2,3       |
| S Norrland | odikat | 4,0    | 4,0    | 3,3    | 2,0      | 3,2        | 1,9      | 1,5       |
|            | dikat  | 4,7    | 4,6    | 4,8    | 4,8      | 4,3        | 2,2      | 2,3       |
| Svealand   | odikat | 6,0    | 5,0    | 4,2    | 3,2      | 2,4        | 2,5      | 1,4       |
|            | dikat  | 7,2    | 6,5    | 4,9    | 2,7      | 4,5        | 1,3      | 1,6       |
| Götaland   | odikat | 9,2    | 6,2    | 5,7    | 3,0      | 4,0        | 3,3      | 1,7       |
|            | dikat  | 4,9    | 7,8    | 6,0    | 3,1      | 3,7        | 2,9      | 1,5       |

Jämför man tillväxten hos dikad och odikad produktiv torvmark med samma markvegetationstyp enligt Riksskogstaxeringen (2003-2007) (tabell 3.1) har den dikade marken i genomsnitt någon kubikmeter (per hektar och år) högre produktion, mindre i Götaland och mer i Svealand och Norrland. Där dikningen varit lyckad ur produktionssynvinkel är det emellertid inte ovanligt att markvegetationen förändras mot att signalera en bördigare klass (Hånell, muntl.). Man kan också i något högre grad ha dikat marker där man bedömde att dikningen skulle ge större effekt, dvs marker där produktionen innan var lägre än på nu odikade. En delförklaring till att tillväxten är lägre på dikad än på odikad högörtstyp i Götaland kan vara att en del dikad sådan mark är relativt nyligen omställd jordbruksmark som inte aktivt förnygrats.



**Figur 3.1. [ $m^3sk/år/ha$ ] Tillväxt för tre olika bördighetsklasser på torvmarksytor med vad som i fält bedömts ha bättre eller sämre fungerande diken inom 25 m som påverkar ytans hydrologi. (Är diket "väl fungerande": JA/NEJ.) Gäller samtliga skogsytor med 100 % torvtäckning i respektive landsdel. (Riksskogstaxeringen 2020).**

Skillnaden i tillväxt mellan provytor med väl fungerande diken och mindre väl fungerande diken på samma ståndortstyper är liten och, förvånande nog, ofta negativ, framförallt i Götaland och Norrland (figur 3.1). Genomsnittet för landet för tillväxt på dikad torvmark med bättre respektive sämre fungerande diken är 5,0 respektive 5,1 m<sup>3</sup>sk per hektar och år.

Denna brist på tydlig positiv skillnad till dikningens, och även dikesrensningens, fördel idag kan eventuellt ha föregåtts av en större positiv effekt när dikningen gjordes som nu avtagit i viss mån. Förekomst av diken kan förväntas ha en positiv effekt på tillväxt framför allt där det stående virkesförrådet är mindre och trädens dränerande förmåga inte är lika stor. En tumregel är att om virkesförrådet är större än 150 skogskubikmeter per hektar förväntas inte rensning av diken påverka trädens tillväxt, eftersom träden då själva håller nere grundvattenytan tillräckligt effektivt (Sarkkola m fl 2010). Eventuellt kan även risken för vattenbrist under torra somrar till följd av torvens låga vattenledande förmåga vara en faktor som påverkar skillnaden i tillväxt mellan dikad och odikad mark. Frekvensen av marktorka har ökat till följd av klimatförändringen, speciellt i Götaland (jfr Eklund m fl 2015).

Av nämnda orsaker är det svårt att skatta vilken dikningens effekt är nu på tillväxten i medeltal för olika bonitetsklasser. Vi gör ändå ett försök att väga ihop informationen från ovan nämnda källor (tabell 3.2).

**Tabell 3.2. [m<sup>3</sup>sk/ha/år] Vår skattning av genomsnittlig tillväxthöjning idag till följd av historisk dikning av torvmark. Baserat på Hånell 1988; 2009, data i tab 3.1 och fig 3.1. (Grå siffror visar låg respektive hög skattning.)**

| Skattn tillv.höjning-> | Högört/lågört/blåbär |       |     | Starr/övriga ristyper |       |     |
|------------------------|----------------------|-------|-----|-----------------------|-------|-----|
|                        | låg                  | medel | hög | låg                   | medel | hög |
| <b>boreal</b>          | 1                    | 2     | 2,5 | 1                     | 1,5   | 2   |
| <b>tempererad</b>      | 1                    | 2     | 3,0 | 0                     | 1,0   | 1,5 |

### 3.3 Förändring av kollager i biomassa

#### Historisk lagerförändring

Skog på torvmark som en gång dikades var i många fall brukade i viss utsträckning även före dikningen och då främst genom plockhuggning (hyggesfritt brukande) (Rudqvist 1999). Detta betyder att utgångsläget när dikningen utfördes var ett bestånd där virkesförrådet oftast var lägre än vad det varit om det varit en sumpskog i naturtillstånd.

Data från Riksskogstaxeringen (2021) visar att medelförrådet i trädbiomassan (ovan och under mark) på dikad torvmark ökade från ca 207 till ca 220 ton CO<sub>2</sub> per hektar mellan 2005–2009 till 2015–2019, dvs 1,3 ton CO<sub>2</sub> per år och hektar, samtidigt som medelåldern ökade med fem år till 67 år. På odikad (ej formellt skyddad) produktiv torvmark ökade kollagret från 206 till 211 ton CO<sub>2</sub> per hektar

över samma period och medelåldern där är nu 86 år. Skillnaden i medellager mellan dikad och odikad mark är således för närvarande ca 9 ton CO<sub>2</sub> per hektar (Tabell 3.3), vilket ungefär motsvarar 5 skogskubikmeter per hektar.

**Tabell 3.3. [ton CO<sub>2</sub>/ha] Genomsnittliga kolförråd ovan och under jord i trädbiomassa på olika torvmarkstyper: hög = högröts- och lågrötsstyper, medel = blåbärs- och starrstyper, låg = sämre riststyper – dikade respektive odikade 2015–2019 (Riksskogstaxeringen 2021).**

| Bonitet-> | Dikad torvmark |        |     |      | Odikad torvmark |        |     |      |
|-----------|----------------|--------|-----|------|-----------------|--------|-----|------|
|           | Hög            | Mellan | Låg | alla | Hög             | Mellan | Låg | Alla |
| Norrländ  | 214            | 200    | 201 | 205  | 206             | 191    | 183 | 193  |
| Svealand  | 239            | 246    | 198 | 236  | 203             | 211    | 190 | 203  |
| Götaland  | 218            | 252    | 177 | 229  | 241             | 238    | 215 | 235  |
| Sverige   | 221            | 229    | 196 | 220  | 217             | 215    | 192 | 211  |

### Fortsatt underhåll av diken och trakthyggesbruk

Vid fortsatt trakthyggesbruk har man bedömt att det i många fall krävs dikesrensning med några decenniers mellanrum för att upprätthålla dikenens funktion. Behovet blir särskilt stort i samband med slutavverkning och föryngring. Grundvattennivåerna riskerar annars att höjas till problematiska nivåer, både med avseende på markens bärighet, men också för föryngring och tillväxt. En viktig del av dikesrensningens funktion är således att förbättra möjligheten att kunna köra skogsmaskiner och föryngra utan problem på marken. Möjligheten att föryngra med gran minskar påtagligt om grundvattennivån är hög.

Större delen av dikningarna gjordes för 30–90 år sedan (figur 1.1). Eftersom det redan stod skog på platsen när dikningen gjordes i de flesta fall (jfr Hånell 2008), har en del av dessa skogar redan slutavverkats och föryngrats. Det råder idag en förhållandevis jämn åldersfördelning på den bördigare hälften av de dikade torvmarkerna, medan åldersfördelningen är förskjuten mot de äldre åldersklasserna på den magrare torvmarken (Drott 2016). Medelåldern ökade under det gångna decenniet med fem år (jfr ovan), men det finns inget tydligt skäl varför den ökningen skulle fortsätta, såvida inte en ökad andel av dessa marker avsätts för naturvårdsändamål.

På de torvmarker där man fortsätter att bedriva trakthyggesbruk kommer således det genomsnittliga virkesförrådet från och med idag sannolikt inte att förändras nämnvärt vare sig i ett kortare (20 år) eller längre (100 år) tidsperspektiv.

Väljer man att se på en enskild mark med slutavverkningsmogen skog som avverkas kommer naturligtvis virkesförrådet på avverkade arealer att minska påtagligt på 20 års sikt. Minskningen blir då i storleksordning 250–350 ton CO<sub>2</sub> per hektar (innehållet i en slutavverkningsmogen skog minus innehållet i den nya vegetationen) beroende på landsdel och ståndortens bördighet.

## Återvätning

I den typ av återvätning vi diskuterar här pluggas diken så pass väl att grundvattennivån hamnar någonstans mellan 5 och 20 cm ner under större delen av året, även när ny skog har vuxit upp. Det handlar inte om att dämna med hjälp av vallar.

För virkesproduktionsmark gör vi bedömningen att återvätning främst kommer att vara ett alternativ på mark med låga virkesförråd, främst för att man då kan återväta större arealer för en viss summa pengar. I viss mån gör det också att marken då återväts fortare, speciellt om det finns en hög granandel i beståndet. Det innebär ofta att marken nyss avverkats eller relativt nyligen ställts om från att vara jordbruksmark.

Återvätning i kombination med fortsatt trakthyggesbruk ser vi i dagsläget inte som något rimligt alternativ. Grundvattennivåhöjningen under hyggesfasen gör det svårt att såväl transportera ut mycket virke, som att markbereda och föryngra.

De flesta dikade marker hade ett trädbestånd före dikning (Holmen 1982, Hånell 1984) och vi bedömer att de därför med tiden kommer att återfå ett sådant efter återvätning, även utan aktiv föryngring om marken slutavverkats. Konkurrens från annan vegetation kan dock i vissa fall förväntas göra att föryngringen går långsamt och på vissa marker kan det vara så att träd inte etableras alls.

Efter återvätning kommer träd tillväxten sannolikt i medeltal att sänkas igen med 1–2 m<sup>3</sup>sk per hektar och år (jfr ovan och tabell 3.2). I och med att markens bärighet sänks kan förlusten av avverkningsbart virke i genomsnitt bli något högre. På fuktig mark får man ofta en god naturlig föryngring av björk, utan aktiva åtgärder (Holmström m fl 2017). I medeltal bedömer vi att föryngringen blir långsammare utan markberedning och att den trädslagsblandning som blir följd kommer att innehålla inslag av trädslag med låg produktivitet. På sikt kan många återväta marker eventuellt vara möjliga att bruka med hyggesfria metoder. Andra kan komma avsättas för naturvårdsändamål. I det förra fallet blir medellagret troligtvis likartat det för trakthyggesbruk (jfr tabell 3.1). För icke brukad skog bör det på längre sikt bli högre.

Idag har odikad produktiv torvmark på formellt skyddad mark ungefär samma kolförråd i skogen som dikad torvmark i medeltal (220 ton koldioxid per hektar, Riksskogstaxeringen 2021). Att inte skillnaden är större förklaras sannolikt av att den i högre grad utgörs av magrare och nordligare torvmarker.

Skog på fuktig/blöt mark brinner i betydligt lägre grad än annan skog i naturtillståndet. Dikad torv kan i gengäld brinna bra en torr sommar och vara synnerligen svårsläckt<sup>8</sup>.

På reservatsmark och i vissa andra fall kan man ha anledning att behålla skogen i sin helhet samtidigt som man pluggar diken. Då får man inte minskningen i kollager i 20-års perspektivet på i runda tal 250–350 ton CO<sub>2</sub> per hektar om det är en äldre skog (jfr innehåll i medelbestånd tabell 3.3), men inte heller den substitution

<sup>8</sup> <https://rib.msb.se/Filer/pdf/28450.pdf> Se t ex Black-Samuelsson m fl (2017)

som det virket kan ge (se nedan). Marker där skogen inte brukas håller ett högre kolförråd än brukade marker i genomsnitt. Skillnaden motsvarar 100–200 ton CO<sub>2</sub> per hektar, dvs några centimeter medelhumifierad torv (jfr tabell 4.3).

***Sammantaget för lagerförändringen i biomassa*** gör vi bedömningen att våra huvudsakliga handlingsalternativ – att fortsätta bedriva trakthyggesbruk och dikesrensa vid behov respektive att återvätta – i medeltal har förhållandevis små effekter på kollagret i biomassan i ett 100-årigt tidsperspektiv. Återvätta marker får antagligen en långsammare återväxt med mindre produktiva trädslag i genomsnitt, men ändå ett liknande genomsnittslager i 100-årsperspektivet. På längre sikt blir skillnaden i virkesförråd liten.

### 3.4 Substitution av andra material och bränslen

#### Hur används trädbiomassan i samhället<sup>9</sup>?

Trädbiomassan som avverkas och körs till skogsindustrin processas där och blir till plank och bräder i sågverksindustrin och till pappersmassa i massaindustrin. Runt en fjärdedel av den biomassan blir sågad vara och drygt en fjärdedel blir pappersmassa. Nära hälften av biomassan blir använd till energiproduktion redan i ett tidigt stadium. Det är framförallt bark, sågspån, bakar och restbitar från sågverks- och träindustrin och tallolja, bark och lignin från massaindustrin. Det mesta av det bränslet används till industrins egen energiförsörjning, vilket innebär att det inte sker några väsentliga utsläpp av koldioxid i den delen av produktionskedjan för skogsprodukterna.

En del av bränslena går vidare till övriga samhällets energiförsörjning. Huvuddelen av talloljan går idag till tillverkning av biodiesel. En del av sågverkens sågspån blir pellets till pelletsugnar. Grenar och toppar från skogen och trä med röta i går oftast direkt till värme- och elproduktion i (kraft)värmeverken. En del gallringar görs direkt för energiändamål. Även den biomassan går delvis till värmeverken men också till vedeldade hus på landsbygden.

Sågverkens produkter används till husstommar, inredningar, möbler etc. Pappersmassan processas vidare till förpackningar, hygienprodukter, skrivpapper, tryckpapper, med mera. En del av massaindustrins produkter materialåtervinns några gånger innan de slutligen slängs. En stor andel av skogsprodukterna används i slutändan till energiproduktion via avfallsförbränning.

Exportandelen av svensk skogsindustriproduktion har sakta ökat under senare decennier. För trettio år sedan låg den på drygt 70 procent och idag på ca 80 procent<sup>10</sup>. Man kan därmed säga att svensk skog totalt sett försörjer huvuddelen av den svenska marknaden samt en ca fyra gånger så stor marknad utomlands med trädbiomassa.

#### Virkets substitution av andra material och annan energi

Om man bedriver skogsbruk skördar man trädbiomassa. Den kan användas istället för andra material och bränslen som genererar utsläpp av växthusgaser (främst

<sup>9</sup> Se t ex Black-Samuelsson m fl (2017)

<sup>10</sup> [www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/](http://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/)

koldioxid) vid tillverkning, konsumtion och/eller kvittblivning. Det är inte helt enkelt att bedöma vilka råvaror och produkter man skulle använt om man inte haft trädbiomassa att tillgå. Dessutom förändrar sig de tänkbara alternativen över tiden (jfr nedan).

Lundmark m fl (2014) beräknade att utsläpp på i genomsnitt ca 0,5 ton CO<sub>2</sub> undviks per skördad svensk skogskubikmeter (0,6 ton CO<sub>2</sub> per ton CO<sub>2</sub> bundet i trä, dvs en substitutionsfaktor på 0,6:1). I skattningen beaktade man kollagerförändringar i genomsnitt i skogen, de viktiga emissionerna relaterade till skogsskötsel, transporter och industriprocesser och de utsläpp som skulle följt om en rimlig mix av alternativa material/energislag hade använts (dvs om trä/biomassa inte funnits som alternativ). Man bedömde att svensk skogsmark som helhet befann sig i ungefärlig balans med avseende på kol baserat på resultat från Riksskogsinventeringen, dvs man gjorde ingen speciell bedömning för växthusgasbalansen på torvmark.

En tidigare modellskattning av substitutionsfaktorn för ett svenskt medelbestånd hamnade på mellan 0,6:1 och 1,3:1 beroende på om grot (grenar och toppar) togs ut eller inte och om man räknade med att energifraktionen ersatte kol eller naturgas (Eriksson m fl 2007).

Leskinen m fl (2018) presenterade en bred översikt av olika beräkningar över substitutionsfaktorer, flertalet gällande enstaka produktslag. De fann då en genomsnittlig substitutionsfaktor på 1,2:1 i sin genomgång av 51 studier, varav de flesta från Norden och Nordamerika. Högst blir värdena när trä/trädbiomassa ersätter cement, betong, keramer och krossad sten.

Björheden (2019) visade att utsläppen från insatsenergin i form av fossila bränslen vid föryngring, skogsskötsel, avverkning, väghållning och transporter i det svenska skogsbruket årligen motsvarar ca 1,5 procent av kolinnehållet i den skördade trädbiomassan. Till det ska läggas användningen av fossila bränslen inom skogsindustrin, men den är också relativt liten i sammanhanget<sup>11</sup>. Dessa utsläpp är typiskt beaktade i ovan nämnda studier.

För fastmark är bilden att markens kolmängd varierar över omloppstiden, men inte i genomsnitt från en omloppstid till nästa<sup>12</sup>. Det innebär att för virke från fastmark är substitutionseffekten tydligt positiv, för det fall man undviker produktion, konsumtion och kvittblivning av fossila bränslen och material som cement, stål och plast, sett i ett längre tidsperspektiv.

För att kunna skatta den totala effekten på klimatet av den extra virkesproduktionen på en dikad jämfört med en odikad torvmark måste man också inkludera de nettoutsläpp som dikningen ger upphov till i budgeten (se kapitel 1 och 4). Man måste också försöka bedöma i vilken grad virket från torvmark ersätter alternativa material och energislag och i vilken grad det bara ersätter trä från fastmark. Om

<sup>11</sup> Energistatistik, Energimyndigheten

<sup>12</sup> Data från Markinventeringen vid SLU som pågått i nuvarande format (ung) sedan 1980-talet indikerar att det snarast pågår en upplagring av kol i den svenska skogsmarken som helhet (alla åldersklasser och boniteter och såväl produktiv mark som impediment) (Sveriges klimatrapportering till UNFCCC, National Inventory Report 2020).



man diskuterar substitution som förväntas ske mer än 50 år fram i tiden måste man dessutom fundera på vad som kan ändras över tid när det gäller tillgängliga alternativ till skogsbaserade produkter samt över hur virkesutbudet från fastmark hinner anpassa sig.

Vilken råvarusubstitution sker i olika fall? Frågan är relevant både när man vill skatta den sammantagna klimatpåverkan av dikning och när man vill förstå vilken sammantagen betydelse återvätning av vissa arealer kan ha för klimatet. Man måste börja med att precisera vilken fråga man vill besvara. Är det:

- I. Vad händer om virke inte finns att tillgå överhuvudtaget på marknaden?
- II. Vad händer om virkesproduktionen ökar totalt sett i den svenska skogen?
- III. Vad händer om den framtida virkesproduktionen minskar på en andel av den svenska skogsmarken?

Det finns en pågående diskussion i samhället kring huruvida det skulle vara bättre för klimatet att låta bli att avverka i skogen och istället använda all skogsmark till att maximera kollagret i biomassa. Björheden (2019) pekar på att det kan man bara göra en gång och samtidigt förlorar vi då nyttan med trädbiomassan i samhället ”för evigt”. I den diskussionen blir *fråga I* ovan relevant. Svaret är att då skulle vi använda andra råvaror till allt det vi idag använder trädbiomassa till<sup>13</sup>. Mycket skulle då sannolikt vara dyrare och därför skulle vi konsumera mindre, men det blir ändå mest rätt att räkna med nära full substitution, till exempel enligt Lundmark m fl (2014).

Svaret på *fråga II* kan sägas spegla den potentiella råvarusubstitutionen för det extra virke som dikningen ger för närvarande. I vilken grad innebär den dryga extra miljonen kubikmeter per år att konsumtion av andra material undviks? Dikningen har också ökat tillgängligheten på virket på torvmarken och minskar nu kostnaden för att komma åt virket. Avverkningsnivån har höjts i takt med den generella tillväxthöjningen i svensk skog. Idag avverkar vi nära taket för vad virkesproduktionsmarken kan leverera, den mark som inte är avsatt eller brukas försiktigare för att värna andra värden som skogen ger (Claesson m fl 2015). Tack vare det extra virket som sänkt utbudspriset på marginalen har svensk skogsindustri behövt importera lite mindre och kunnat växa lite till och. Dikningen har således inneburit att skogsindustrins konkurrensförmåga stärkts något, först och främst gentemot trä från andra marker och andra länder, i någon mån även mot andra material och råvaror.

I vilka lägen är konkurrensen störst med importvirke/utländsk skogsindustri, dvs i praktiken med trä från fastmark, och när är konkurrensen från andra råvaror/energislag större? Träanvändningen i byggsektorn för flerfamiljshus har styrts och styrs betydligt mer av andra faktorer än priset på råvaran. På senare år har byggtekniken för trähus utvecklats mot modulkonstruktioner där delarna byggs färdigt på fabrik och levereras efterhand, som inte låter sig göras med tung betong på samma sätt. Det ger kortare byggtid och lägre byggkostnader och det är tunga

<sup>13</sup> Här tillspetsat som alternativ. En del debattörer menar att vi ska spara upp kollagren men ändå plockhugga på ett försiktigare sätt än i dagens traktthyggesbruk. Då kan man med tiden fortfarande skörda en stor andel av vad vi skördar idag (jfr diskussion i Berndes m fl 2018).

ekonomiska faktorer som nu får intresset för träbyggande att öka. På förpackningssidan är själva materialkonkurrensen hårdare. Där kan man därför räkna med en högre grad av råvarusubstitution, men där finns även en tydlig konkurrens med skogsindustri i andra länder med i bilden. På energisidan har klimatpolitiken styrt bort från fossila bränslen vad gäller värme- och elproduktion under senare decennier. Här konkurrerar restprodukter från skogen främst med importerade restbränslen (sopor, returträ), dvs i huvudsak andra biobränslen. För fordonstransporter är konkurrensen mellan biobaserade bränslen och fossila bränslen (bensin, diesel, etc) för närvarande skarp.

En bedömning baserad på resonemanget ovan är att minst hälften, sannolikt mer, av det extra virke som torvmarksdikningen ger oss idag skulle ersatts med inhemskt eller utländskt trä eller annan biomassa från fastmark om inte vi haft det, snarare än den alternativa mixen<sup>14</sup>.

I genomsnitt bedömer vi att produktionen har ökat till följd av dikning med 2 och 1 kubikmeter per år och hektar för bördig respektive mindre bördig mark i den tempererade klimatzonen och med 2 och 1,5 m<sup>3</sup>sk per år och hektar för bördig respektive mindre bördig mark i den boreala klimatzonen. Dessutom medför den ökade bärigheten på marken att mer torvmarksvirke har blivit tillgängligt för avverkning genom dikningen, vilket avspeglar sig i en lägre medelålder (jfr ovan). Även den effekten är svår att skatta men bör som högst kunna vara i samma storleksordning som tillväxteffekten. De undvikna emissionerna från andra material/energislag till följd av upprätthållen dikning hamnar därmed någonstans i intervallet 0,5–1,0 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år (2–4 kubikmeter per hektar och år \* 50 % ”trä mot trä-substitutionsfaktor” \* 0,5 ton CO<sub>2</sub>-emissioner per kubikmeter) för bördig mark och runt 0,3–0,7 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år för övriga marker.

När man diskuterar effekten på längre sikt av att underhålla dikena respektive av återvätning av skogliga torvmarker för klimatets skull är det *fråga III* som är mest relevant.

Det är föreslaget att det är mest angeläget att återväta ca 100 000 ha bördig skoglig torvmark främst i Götaland och Svealand<sup>15</sup>. I huvudalternativet för återvätning sker först en avverkning av huvuddelen av det stående beståndet, om det finns ett sådant med högt virkesvärde i. Om all sådan återvätt mark avsätts helt till fri utveckling förloras därigenom som mest en leverans av runt 0,6 miljoner skogskubikmeter per år (fig 3.1) på längre sikt. Det är emellertid möjligt att man kommer att plockhugga på en stor del av dessa marker i framtiden.

Eftersom vi då talar om utbudsminskningar som ligger långt fram i tiden och därför kan ”förutses” av skogsbruket ökar intresset på marginalen att sköta annan produktionsskog bättre, såväl i Sverige som i andra länder. Huvuddelen av den produktionen kommer då att ligga på fastmark<sup>16</sup>. Det finns stora arealer, såväl i

<sup>14</sup> Jfr t ex <https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/rapporter/skogsindustrierna-marknadsrapport-dec-2020.pdf>

<sup>15</sup> SOU 2020:4 Vägen till en klimatpositiv framtid

<sup>16</sup> SKA15-analysen skattar att årstillväxten i svensk skog totalt kommer att öka med runt 20 miljoner m<sup>3</sup>sk jämfört med 00-talet till mot andra halvan av detta sekel (Claesson m fl 2015). Jfr även Jonsson m fl 2018.

Europa som på andra håll i världen som en gång avskogats för att användas till odling eller bete och som nu är övergivna<sup>17</sup>. Sådan mark finns i viss utsträckning även i Sverige<sup>18</sup>. Om priset på träråvara ökar i världen skulle skogsproduktion kunna börja löna sig på en andel av dessa markarealer. Även i Sverige skulle markägare bli mer intresserade av sköta skogen för en hög och värdefull produktion.

Dessa effekter kommer på sikt sannolikt att i hög grad kompensera för den relativt begränsade utbudsminskning som återvätningen leder till. Alternativa material och energislag kommer då också sannolikt att ha något lägre klimatpåverkan än idag (jfr nedan).

Ett exempel på en redan införd konsumtionsstyrning är reduktionsplikten för fordonbränsle. Den kommer sannolikt att medföra en ökad efterfrågan på biobränslen, åtminstone under kommande decennium. Den kommer troligen i sin tur att innebära att tillvaratagande av grot återigen ökar, efter att nu ha minskat under ett antal år. Reduktionsplikten kommer troligen även att förbättra ekonomin i så kallade bränslegallringar<sup>19</sup> och tillvaratagande av biomassa vid väg- och ledningsröjningar och liknande.

En sak att ta hänsyn till när man räknar på råvarusubstitutionen några decennier fram i tiden är den pågående minskningen när det gäller produktionskostnad för ny vind- och solel<sup>20</sup>, vilket även påverkar ekonomin i att köra elbil och potentialen för vätgas till fordonbränsle. Utvecklingen kan medföra att det tidigare förutsedda behovet av biomassa för uppvärmning och transporter minskar framöver. Vidare kan metaller och glas få en allt bättre klimatprofil i takt med att elproduktion ställs om och utnyttjas i ökande grad av metall- och glasindustrin.

Å andra sidan finns en stor global användning av olje- och naturgasbaserade plaster, oljor, kemikalier, etc som behöver minska eller ställas om till biobaserad råvara och återanvändbara produkter. Om restriktioner skulle införas som diskriminerar bulkanvändning av fossilbränslebaserad råvara till sådana produkter förbättras marknadsförutsättningarna kraftigt för biobaserade lösningar.

För cementindustrin krävs CCS-teknik (carbon capture and storage) för att få en acceptabel klimatprofil då kalkstenens karbonater i hög grad avgår som koldioxid vid produktion/användning av cement (Andrew 2018). Det fördyrar cementen, vilket innebär att träets konkurrenskraft kanske ändå ökar i någon mån trots att de klimatmässiga fördelarna minskar, parallellt med ökad effektivitet i resursanvändningen, materialåtervinning, ökad användning av tegel, etc.

---

<sup>17</sup> FAO 2012. Impacts of Bioenergy on Food Security – Guidance for Assessment and Response at National and Project Levels. Environment and Natural Resources Management Series No. 52, FAO, Rome; SCOPE 2015. Bioenergy & Sustainability: bridging the gaps. Eds: Souza GM, Victoria RL, Joly CA & Verdade LM. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) 72. Fernando Sian Martins, São Paulo.

<sup>18</sup> SOU 2020:4

<sup>19</sup> Bioenergi på rätt sätt. Om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder. Skogsstyrelsen 2017:10

<sup>20</sup> <https://www.lazard.com/media/451419/lazards-levelized-cost-of-energy-version-140.pdf> (okt 2020)

I en rapport från Ingenjörsvetenskapsakademien från 2019<sup>21</sup> skriver man: ”Här kan konstateras att allt pekar på att substitutionseffekten av biomassa kommer vara hög under lång tid framöver, i alla fall fram till mitten av århundradet när klimatutsläppen ska vara nära noll. I en värld som utvecklas i enlighet med Parisavtalet kommer det inom ett antal årtionden behövas reglerkraft i elsystemet som ger nettonollutsläpp till atmosfären. Här utgör biobränsleeldade kraftverk en möjlig teknik. Inom transportsektorn kommer biomassa för drivmedelsproduktion behövas under ett antal årtionden då det kommer att ta tid att elektrifiera vägtransporter. Biomassa för drivmedelsproduktion till flyg- och sjöfart kommer att behövas under överskådlig tid för minskning av klimatutsläppen.”

I hög grad hänger biomassabehoven inom energisektorn således på hur andra möjligheter till energilagring och reglerkraft utvecklas under kommande decennier<sup>22</sup> och på utvecklingen av elburna transporter. På material- och kemikaliesidan är behoven av ersättningsråvara stora i ett klimatomfattigt hållbart samhälle, såvida inte resursförbrukningen per capita kan reduceras markant över tid.

Av resonemanget ovan följer att ingen eller en mycket liten reell substitution av andra material/energislager sker för torvmarksvirke i framtiden. Därmed skattas storleken på undvikna emissioner från andra material/energislager för framtida torvmarksvirke till 0 – 0,2 ton koldioxid per år och hektar.

I ett hypotetiskt scenario där skogsprodukterna från den dikade marken även i en framtid skulle ge en femtioprocentig effekt i form av undvikna emissioner kopplade till andra material/energislager, och där hela tillväxten efter återvätning förloaras, skulle den maximala effekten motsvara ca 1,5 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år, på bördig mark i södra Sverige. På magrare torvmark i södra Sverige och bördig torvmark i norra Sverige blir den max 1 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. Vi bedömer dock inte detta som ett sannolikt scenario.

***Sammantaget bedömer vi att effekten i form av undvikna emissioner kopplade till andra material/energislager*** för det extra virke som dikningen ger på dikad torvmark där dikena underhålls och trakthyggesbruket upprätthålls finns i spannet 0,5–1,0 ton CO<sub>2</sub> per år och hektar *idag* för bördig mark och 0,3–0,7 ton CO<sub>2</sub> per år och hektar för övriga marker. I återvättningsfallet och för upprätthållanden dikning *på längre sikt* handlar det om avverkningsmöjligheterna långt fram i tiden. Vår bedömning är att virke från fastmark då är huvudkonkurrent till virket från torvmark. Ingen eller en mycket liten reell substitution av andra material/energislager sker (0–0,2 ton CO<sub>2</sub> per år och hektar).

### **3.5 Underhåll och ökning av lagret i skogsindustriprodukter**

Skogsindustriproduktionen bidrar till att upprätthålla och, om produktionen är högre än kvittblivningen, öka lagret i skogsindustriprodukter under användning i samhället (byggnader, möbler, inredning, böcker, etc). Som nämnts ovan är ex-

<sup>21</sup> <https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/201909-iva-vagval-for-klimatet-delrapport4-i.pdf>

<sup>22</sup> <https://www.nyteknik.se/artiklar-om/Energilagring>

portandelen av svensk skogsindustriproduktion idag ca 84 % vilket i princip innebär att svensk skog försörjer huvuddelen av den svenska marknaden samt en ca fem gånger så stor marknad utomlands med skogsprodukter.

Bergh m fl (2003) skattade storleken på lagret av kol i skogsindustriprodukter i det svenska samhället till ca 95 miljoner ton uttryckt som CO<sub>2</sub> och det årliga tillskottet i form av produkter till den svenska marknaden till ca 7,3 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år. Man beräknade vidare att lagerökningen i genomsnitt hade varit ca 0,4 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år mellan 1960- och 1990-talen. Det är således en stor omsättning i produktlagret. Mycket handlar det om att vi har rivit hus på ställen som betraktats som oattraktiva och byggt nya på andra ställen.

I den officiella rapporteringen till FN räknar man med att det sker en viss ökning i det samhällslager av skogsprodukter som sammantaget underhålls av svenskt virke, i Sverige och i andra länder. Ökningen skattas via modellberäkningar till i genomsnitt 7 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år under perioden 1990–2019<sup>23</sup>. Av denna ökning bör då cirka 16 % (1,1 miljoner ton CO<sub>2</sub> per år) finnas i Sverige. Om det stämmer har lagerökningshastigheten nästan tredubblats i Sverige jämfört med föregående decennier och lagret ska i så fall ha ökat med runt 33 miljoner ton CO<sub>2</sub> under den senaste trettioårsperioden (till nära 130 miljoner ton CO<sub>2</sub>). Det borde undersökas om det stämmer eller om den använda modellen överskattar ökningshastigheten. Det byggs i alla fall betydligt fler flervåningshus med trästomme sedan några år tillbaka, jämfört med tidigare under detta och förra seklet.

Om modellberäkningen som ligger till grund för rapporteringen stämmer bidrar varje svensk hektar produktionsskog (ca 20 miljoner hektar) för närvarande till en lagerökning i skogsindustriprodukter på i genomsnitt ca en tredjedels ton CO<sub>2</sub> per år. Varje kubikmeter i skörden (nära 100 miljoner skogskubikmeter per år) bidrar till lagerökningen med ca 0,07 ton CO<sub>2</sub> per år.

För denna nytta gäller emellertid samma resonemang som för substitutionen (jfr ovan). I de fall alternativet till trä från torvmark är trä från fastmark, kan man inte säga att denna ökning eller detta produktlager försvinner om leveransen från torvmark försvinner.

***Sammantaget*** bedömer vi att varje kubikmeter i skörden för närvarande bidrar till en lagerökning i skogsprodukter i samhället med ca 0,07 ton CO<sub>2</sub>. Med en ökad avverkning till följd av dikning på 2–4 kubikmeter per år och hektar, och en femtioprocentig trä-mot-träkonkurrens med virke från fastmark (jfr ovan), kan den extra lagerökningen skattas till 0,07–0,14 ton CO<sub>2</sub> per år och hektar, med de lägsta värdena för magrare mark i norr.

Denna post är liten i relation till de flesta övriga poster i de växthusgasbalanser vi undersöker och vi bortser därför från den i den sammantagna analysen i kapitel 4.

<sup>23</sup> Sveriges rapportering till FN: NIR 2020

## 4 Analys av handlingsalternativen

### 4.1 Vilken klimatpåverkan ger fortsatt dikesrensning och trakthyggesbruk?

I tabell 4.1 redovisas resultatet av sammanställningen av skattade nettoflöden av växthusgaser från marken för dikad och odikad torvmark (eller torvmark efter återvätning), i 100-årsperspektivet. Värdena i tabellen baseras på den sammanställning av litteraturvärden som redovisas i kapitel 2.

Nettoavgången av växthusgaser (positiva värden i tabellen) från marken på dikad torvmark är högre på mer näringsrik mark och längre söderut i Sverige, dvs avgången är högst från dikad näringsrik mark i tempererad zon (16–36 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år) och lägst från dikad näringsfattig mark i boreal zon (-0,6–1 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år) (tabell 4.1). Mönstret är detsamma för odikad torvmark/torvmark efter återvätning, dvs avgången av växthusgaser från marken ökar med ökad näringstillgång och längre söderut i landet.

För att korrekt beskriva effekten på växthusgasbalansen av att man genomfört dikning behöver avgången av växthusgaser från odikad torvmark dras från avgången från den dikade marken. Resultatet av den beräkningen visas i den sista kolumnen i tabellen. Beräkningen visar alltså den ökade avgång av växthusgaser som skett och sker per hektar och år från marken på de olika typerna av torvmark till följd av att markerna dikats. Denna beräkning avser effekten i 100-årsperspektivet, dvs med den klimatpåverkan de olika gaserna beräknas ha i ett 100-årsperspektiv. Den ursprungliga dikningen har i de flesta fall gjorts för 30–90 år sedan. Fortsatt dikesrensning och trakthyggesbruk kan förväntas upprätthålla denna situation så länge det finns torv kvar på markerna en bit ovanför den grundvattennivå som dikesrensningen ger. Dikesrensning får enligt regelverket inte skapa djupare diken än vad den ursprungliga markavvattningen resulterade i.

För näringsrik dikad torvmark i tempererad zon skattas den ökade avgången från marken till följd av dikning till i genomsnitt i storleksordningen 6 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år (tabell 4.1). För dikad näringsrik tidigare jordbruksmark i södra Sverige som idag är beskogad, dvs de marker som har den högsta avgången, indikerar sammanställningen en ökad avgång pga dikning på i storleksordningen 26 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år. Nettoförlusten av markkol motsvarar här en förlust av runt 0,5–1 centimeter medelhumifierad torv per år (jfr tabell 4.3).

Det levererade virket från olika typer av torvmarker till följd av dikningen kan substituera alternativa material och alternativ energi så att klimatpåverkan från dessa minskar med upp till 1 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år. För näringsrik mark i tempererad zon blir därmed posten för undvikna utsläpp från alternativa material/energislag liten i den sammantagna budgeten. Marker där tillväxthöjningen på grund av dikning är högre än medeltalet är ofta samma marker där avgången av koldioxid och lustgas är högre än medeltalet. Nettoutsläppen från marken är således fortfarande betydligt högre.

**Tabell 4.1. [ton CO<sub>2</sub>e/ha, år] Sammanställning av resultat av skattade värden för nettoflöden av växthusgaser från marken för dikad torvmark samt för odikad torvmark/torvmark efter återvätning, samt genomsnittlig skillnad mellan dikad och odikad torvmark, i ett 100-årsperspektiv. Resultaten som redovisas i tabellen baseras på sammanställningen i kapitel 3. Positiva värden (+) anger avgång till atmosfären och negativa värden (-) anger upptag i marken. Omräkningsfaktor (GWP100) för metan 34 och för lustgas 298.**

|                               | Dikad låga värden | Dikad medelvärden | Dikad höga värden | Odikad | Skillnad dikad-odikad torvmark i genomsnitt |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|---|
| Tempererad näringsrik mark    |                   | 16                | 36                | 9,8    | 6,2   |
| Tempererad näringsfattig mark |                   | 4,6               |                   | 3,2    | 1,4   |
| Boreal näringsrik mark        | 4,7               | 5,7               | 14                | 4,4    | 1,3   |
| Boreal näringsfattig mark     | -0,6              | 0,2               | 1                 | 0,3    | -0,1  |

**Tabell 4.2. [ton CO<sub>2</sub>e/ha, år] Som ovan men utsläppens värmande effekt är jämförd i ett 20-årsperspektiv. Omräkningsfaktor (GWP20) för metan 86 och för lustgas 268.**

|                               | Dikad låga värden | Dikad medelvärden | Dikad höga värden | Odikad | Skillnad dikad-odikad torvmark i genomsnitt |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|---|
| Tempererad näringsrik mark    |                   | 16                | 36                | 26     | -10   |
| Tempererad näringsfattig mark |                   | 5,0               |                   | 9,5    | -4,5  |
| Boreal näringsrik mark        | 4,9               | 5,9               | 14                | 13     | -7,1  |
| Boreal näringsfattig mark     | 0,0               | 0,8               | 1,6               | 3,2    | -2,4  |

För näringsfattig dikad torvmark i tempererad zon och för näringsrik dikad torvmark i boreal zon skattas den ökade avgången från marken till följd av dikning till i genomsnitt cirka 1,3–1,4 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år i 100-årsperspektivet (tabell 4.1).

För dessa marker har undvikna utsläpp från alternativa material/energislav av de ökade avverkningsmöjligheterna (0,3–0,7 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år idag och 0–0,2 ton CO<sub>2</sub> per hektar och år i framtiden), viss betydelse i den sammantagna budgeten. Men, då dikningen innebär nettoutsläpp från marken vore det trots allt bättre att använda virke från fastmark. Vår bedömning är att trädbiomassa från fastmark redan nu, och i än högre grad i framtiden, sannolikt är en större konkurrent till virke från torvmark än vad andra material med stor klimatpåverkan är (kap 3). I ett längre tidsperspektiv än 100 år kvarstår klimatpåverkan av koldioxid i betydligt högre grad än den av metan. Effekten av dikning av dessa marker blir således mer negativ ju längre tidsperspektiv som används i analysen.

Inom gruppen näringsrik, väl-dränerad dikad torvmark långt söderut i boreal zon finns vissa marker där den ökade avgången från marken till följd av dikning skattas till ca 10 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år i 100-årsperspektivet (tabell 4.1). Detta baseras på finska studier (framför allt Ojanen m fl 2013), men vår bedömning är att motsvarande marker sannolikt finns i norra Svealand och sydligaste Norrland.

**Tabell 4.3 Torrsvikt och kolinnehåll per centimeter i några olika typer av torv (\*Norberg m fl 2019, övriga Bolter 1968).**

| Torvtyp                                  | Torrsvikt<br>[ton ts/m <sup>3</sup> ] | Mängd koldioxid per<br>cm torv per ha<br>[ton CO <sub>2</sub> /cm/ha] |
|--|---------------------------------------|---|
| Vitmossetorv, 0-10 cm, odikad            | 0,01                                  | 1,8   |
| Vitmossetorv, 15-25 cm, odikad           | 0,04                                  | 7,3   |
| Vitmossetorv, 45-55 cm, odikad           | 0,05                                  | 9,7   |
| Kärrtorv, lägre humifieringsgrad         | 0,07                                  | 13  |
| Kärrtorv, medelhög humifieringsgrad      | 0,17                                  | 32  |
| Kärrtorv, högre humifieringsgrad         | 0,29                                  | 48  |
| *Dikad brukad mark, hög humifieringsgrad | 0,36                                  | 66  |

För näringsfattig dikad torvmark i boreal zon indikerar sammanställningen att det i medeltal inte sker någon nettoavgång av växthusgaser från marken till följd av dikning. Det saknas idag studier från Sverige på denna typ av marker men det finns ett antal studier från Finland att basera slutsatserna på. Skattningen av markens kolbalans är en post som innehåller en del osäkerheter eftersom skattningen är komplicerad och kräver en kombination av olika metoder (se kap 3). I och med att de absoluta talen är mindre för de näringsfattiga boreala markerna får osäkerheter ett större genomslag för nettoeffekten. Vi bedömer det i vilket fall som säkert att nettoavgången från marken på näringsfattig dikad mark i boreal zon är relativt liten per hektar.

Det genomsnittliga virkesförrådet antas vara nära konstant över tid för samtliga marker så länge markerna fortsätter att brukas genom traktthyggesbruk.

Klimatpåverkan av nydikning bör likna den av att upprätthålla diken. Sannolikt har man en högre hastighet i torvnedbrytningen under de första decennierna då nä-



ringstillgången är högre. Å andra sidan har man sannolikt även en högre tillväxtnytta av dikningen under de första decennierna (Hånell, 1988), liksom en viss lagerökning i den brukade skogen (kap 3).

## 4.2 Vilken klimatpåverkan ger återvätning i olika fall?

Ett alternativ för fortsatt markanvändning är att återväta marken genom att plugga eller lägga igen diken, med målet att återställa till en grundvattennivå nära den för en naturlig torvmark. Detta har förordats såväl internationellt som i Sverige som en metod för att minska klimatpåverkan från dikad torvmark (tex Gunther m fl 2020, Strack m fl 2008).

Den sista kolumnen i tabell 4.1 beskriver skillnaden i växthusgasbalans för marken mellan en dikad torvmark å ena sidan, och en odikad torvmark eller en torvmark efter återvätning å andra sidan. På kort sikt (några få år) kan spridningen i resultat förväntas vara större efter återvätning än för odikad torvmark, men på längre sikt förväntas växthusgasbalansen vara likartad. Korrelationer mellan grundvattenytans läge och avgång av växthusgaser för dikad och återvätt torvmark har använts för att styrka att avgången av växthusgaser fungerar på ett likartat sätt från torvmark som aldrig dikats och från återvätt torvmark och att dessa alltså kan användas tillsammans (kap 2).

Resultaten i tabell 4.1 visar den uppskattade minskning i avgång av växthusgaser från marken som kan förväntas i ett 100-årsperspektiv om en återvätning genomförs. Minskningen är störst för näringsrik dikad torvmark i tempererad zon, i genomsnitt drygt 6 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år. För övriga marker är minskningen i genomsnitt mindre än 1,5 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år. Klimatvinsten med återvätning bedöms alltså som lägre ju mer näringsfattig en torvmark är och ju längre norrut i landet den ligger.

Vid en återvätning som inte innebär något fortsatt brukande av skogen förväntas på de flesta marker en naturlig återväxt till någon form av sumpskog eller trädbevuxen mosse. På 100 års sikt bedömer vi att man på många marker kan förväntas återfå ett kollager i stående skog som är i samma storleksordning som medelförrådet på den dikade marken. I mindre utsträckning finns det sannolikt också marker där etableringen av ett trädskikt förväntas gå långsamt eller inte ske alls.

Återvätning utan fortsatt brukande innebär en förlust av den substitutionseffekt som produkterna genererat. När återvätning görs efter slutavverkning ligger förlusten av virkesleverans till samhället långt fram i tiden. Om brukandet upphör förloras i genomsnitt ca sex kubikmeter per hektar och år på de bördiga marker som återväts av klimatskäl. Vår bedömning är att detta virke då ersätts till övervägande del med virke från fastmark och annan hållbar råvaru- och energiproduktion (se kap 3). I och med att effekterna för marken bedöms vara så stora för gruppen näringsrika väl-dränerade marker i södra Sverige bedöms återvätning av dessa marker i genomsnitt ge klimatnytta i 100-årsperspektivet även i ett scenario där skogsprodukterna från den dikade marken i en framtid ger en effekt i form av undvikna emissioner kopplade till andra material med egen klimatpåverkan och där ingen återväxt av skog efter återvätning sker, dvs hela kolförrådet i träd förloras pga återvätning. Vår bedömning är dock inte att detta är ett sannolikt scenario (se kap 3).

Återvätning leder till minskad avgång av koldioxid och lustgas från marken, men ökad avgång av metan. Metan har en betydligt högre värmande effekt per gram än koldioxid, men den är i gengäld mer kortlivad i atmosfären. Därför räknar man med en högre omräkningsfaktor för metan då man jämför i 20-årsperspektivet än i 100-årsperspektivet (omräkningsfaktorn för GWP20 är 86 och för GWP100 34).

Räknat i ett 20-årsperspektiv blir skillnaden mellan dikad näringsrik torvmark och återvätt näringsrik torvmark i tempererad zon i genomsnitt minus 10 ton CO<sub>2</sub>e per hektar och år (tabell 4.2) Detta betyder att återvätning i genomsnitt leder till en ökad klimatvärmande effekt i ett 20-årsperspektiv för dessa marker. Beräkningar för finska torvmarker (som ligger i boreal zon) har indikerat att det tar i storleksordningen 100 år innan en återvätning ger minskad klimatpåverkan, till stor del pga effekten av metan på kortare sikt (Ojanen och Minkkinen 2020).

Sammantaget över längre tid blir emellertid minskningen i värmande effekt betydligt större än ökningen på kort sikt av återvätningensåtgärden. När den är större på 100 års sikt är den det i medeltal över den tiden. Växthusgaskoncentrationerna i atmosfären kommer med all sannolikhet att vara högre om 100 år än om 20 år och därmed risken för temperaturutlösta förstärkningseffekter av olika slag.

Vilken ökning i kolförråd som man får i träden i 20-årsperspektivet för ett enskilt bestånd är till stor del beroende på vilken del av omloppstiden man betraktar. Under den del av omloppstiden då skogen växer som fortast får man en betydande lagerökning i träden. Ekosystemmodellering har indikerat att under de delar av omloppstiden då träden växer som fortast är även lokaler med hög avgång från marken sänkor för växthusgaser pga upptaget i träden (Kasimir m fl 2018). Samtidigt kommer virket från dikad torvmark även i det tidsperspektivet att ha en sämre klimatprofil än motsvarande virke från fastmark, för alla de marker där man har en kontinuerligt pågående nettoavgång av växthusgaser från marken.

För den grupp dikade torvmarker som har högst avgång av växthusgaser, dvs dikad, väl-dränerad, näringsrik torvmark i södra Sverige med en tidigare jordbrukshistorik indikerar vår skattning för marken att återvätning ger en klimatnytta i 20-årsperspektivet, och att klimatnyttan är betydande i 100-årsperspektivet (tabellerna 4.1 och 4.2).

Återvätning kan förväntas ge störst sammanlagd nytta över tid på plana marker där dikena är djupa och väl fungerande (dvs grundvattenytan lågt stående) och torvskiktet minst lika tjockt som dikesdjupet. På bördig torvmark i boreal zon och på mager torvmark i tempererad zon bör återvätning i genomsnitt ge en klimatnytta i ett 100-årsperspektiv, men den är mer osäker och betydligt mindre per hektar än på de bördiga markerna i tempererad zon. Undantaget från detta utgörs av näringsrika, väl-dränerade dikade torvmarker långt söderut i boreal zon, där finska resultat indikerar att återvätning i 100-årsperspektivet skulle ge en betydande vinst.

Det finns en hel del dåligt föryngrad övergiven jordbruksmark, speciellt i södra Sverige, som kan anses som särskilt lämplig för återvätning. På knappt 40 procent av torvmarken med låg- och högörtstyp i Götaland står det mindre än 50 m<sup>3</sup>sk per

hektar idag<sup>24</sup>. Betydligt mer än 50 000 hektar jordbruksmark på torvmark har överförts till skogsmark i Götaland och södra Svealand sedan 1960-talet (Berglund & Eklöf 2019).

### 4.3 Vad blir klimatpåverkan om skogen inte slutavverkas?

Flera forskargrupper har på senare år förordat att lämna skogen och antingen aktivt återväta marken eller att låta diken gradvis försumpas (tex Ojanen och Minkkinen 2020). Denna typ av alternativ kan antingen innebära att skogen lämnas för fri utveckling, för att på längre sikt återgå till någon form av naturskog, eller att skogen i framtiden skulle kunna brukas med någon form av hyggesfri metod, mest troligt plockhuggning eller blädningbruk (jfr Rudqvist 1999, Leppä m fl 2020, Drott 2016).

Vår genomgång av litteraturen har visat att grundvattenytan på dikad torvmark i många fall ligger 20 - 40 cm under markytan. Det finns också fall där grundvattenytan ligger 40 - 60 cm under markytan, eller så mycket som 100 cm under markytan. En tidigare litteratursammanställning har visat att grundvattenytan efter en gallring kan förväntas stiga med 0 - 15 cm och efter en slutavverkning med 5 - 40 cm (Sikström och Hökkä 2015). Finska studier indikerar att man skulle kunna styra grundvattenytans läge på ett klimatomänsigt lämpligt sätt via ett hyggesfritt brukande (till exempel Leppä m fl 2020). Ett hyggesfritt brukande måste dock ske inom de begränsningar i form av framför allt markens bärighet och de möjligheter till föryngring som finns på torvmark (tex Drott 2016).

Är det stående virkesförrådet stort kan effekten av träden på hydrologin förväntas vara stor. I en situation där skogen håller nere grundvattenytan lägre än ca 20 cm under markytan kan man förvänta sig att en viss fortsatt nedbrytning av torv sker till följd av detta. Om man inte aktivt återväter men inte heller rensar diken sker en gradvis igenväxning av diken och försumpning över tid. Grundvattenytan kommer då att stiga men samtidigt hållas nere av det växande beståndet. Var grundvattenytan slutligen hamnar beror till viss del på hur tät skogen är och vilken tillväxt den har. Skogar med stora virkesförråd och snabb tillväxt kommer att hålla nere grundvattenytan mer effektivt. Skog med ett tätt kronskikt fångar också mycket nederbörd i kronorna som avdunstar direkt därifrån.

På vissa marker är det troligen möjligt att återväta och samtidigt behålla ett trädskikt som kan brukas med någon typ av hyggesfri metod. Ojanen och Minkkinen (2020) för fram detta som ett möjligt alternativ som särskilt på kortare sikt (mindre än 100 år) skulle kunna vara klimatomänsigt bättre än att avverka och återväta, men pekar samtidigt på att en förutsättning för detta är att man lyckas hålla torvmarken så blöt som möjligt, utan att trädbeståndet skadas av att det blir för blött. Om man vill undvika större tillväxtnedsättningar är deras rekommendation att grundvattenytan hålls på i genomsnitt ca 30 cm djup över året.

En jämförelse med vår sammanställning (kap 3) indikerar att vissa dikade torvmarker i Sverige redan har en grundvattenyta på den nivån, dvs där har antagligen redan skett en viss försumpning pga bristande dikesunderhåll. Ojanen och Minkkinen (2020) lyfter också fram att det är bra om det kan finnas flera möjliga

<sup>24</sup> Riksskogstaxeringen 2020

alternativ för fortsatt markanvändning för att kunna välja det som är klimatomfattigt bra och lämpligt av andra skäl, för ett visst bestånd. Vår bedömning är att eventuella hyggesfria möjligheter behöver studeras mer och testas praktiskt, framför allt när det gäller markens bärighet och förnygringen.

Kasimir m fl (2018) för fram möjligheten att skapa relativt blöta förhållanden, som innebär att man undviker koldioxidutsläpp från nedbrytning av torv, men samtidigt inte skapar så blöta förhållanden att metanproduktion gynnas. Detta innebär en grundvattenyta i genomsnitt under året på 10-20 cm djup. Man diskuterar också möjligheten att odla andra trädslag än gran, som glasbjörk eller al.

#### **4.4 Osäkerheter och styrande faktorer för växthusgasbalansen**

De skillnader i växthusgasbalans mellan olika marker som vi visat i kapitel 2 och som sammanställts i det här kapitlet kan ge intryck av att det finns skarpa övergångar mellan de olika kategorierna av marker (tempererad näringsrik, boreal näringsfattig etc.). I själva verket bör genomgången snarare ses som ett försök att grovt kategorisera olika marker. Kunskapen är idag inte så komplett att man kan slå fast exakt var övergången mellan olika kategorier av marker sker. Därför är det angeläget att fortsätta att bygga upp kunskap för att göra bilden mer komplett. Genomgången av vetenskaplig litteratur visar dock på vilken variation i växthusgasbalans som förekommer mellan olika marker och vilka de viktigaste styrande faktorerna är för att förklara variationen. Detta ger en bra grund för förståelse av vad som styr växthusgasbalansen och vilken storleksordningen som avgång och upptag av växthusgaser har på olika typer av marker.

Skillnader mellan olika marker orsakas av några centrala faktorer, som styr de bakomliggande processerna, för växthusgaserna koldioxid, lustgas och metan. Grundvattenytans läge är en central faktor för avgång av koldioxid eftersom detta avgör hur stor volym torv som kommer i kontakt med luftens syre. Nedbrytbarheten av torven varierar också med näringsinnehåll, pH-värde och beroende på vilka kolstrukturer som torven består av. Högre näringsinnehåll, högre pH-värde (inom det intervall som förekommer i mark) och mer lättnedbrytbara kolstrukturer leder till högre avgång av koldioxid. Dessutom leder en ökad temperatur generellt till högre mikrobiell aktivitet och därmed bättre förutsättningar för nedbrytning. I flera av de studier som gjorts har man för koldioxid också funnit samband med tidigare brukningshistorik. Man observerar den högsta avgången av koldioxid från marker med en tidigare historik av jordbruk (tex Meyer m fl 2013).

För lustgas finns ett samband med näringsinnehåll (kol/kvävekvot), där avgången stiger vid en kol/kvävekvot under 25 enligt flera studier. Avgång av metan påverkas, liksom koldioxid, mycket av grundvattenytans läge. Metan produceras av organismer som lever i den syrefria delen av torven, under grundvattenytan. I den syresatta delen av torven, ovanför grundvattenytan, lever organismer som oxiderar metan. Dessutom påverkas metanavgång av vegetationen, eftersom denna påverkar transporten av metan från mark till atmosfär och tillgången på substrat för organismer.

För näringsfattig dikad torvmark i boreal zon finns studier (tex Ojanen m fl 2013) som indikerar att upptaget av kol i marken är större än avgången av koldioxid. En

sådan situation skulle kunna uppstå när det finns ett växande trädbestånd och vegetation som producerar förna, samtidigt som man har en torv som är svårnedbrytbar eller förhållanden som inte är gynnsamma för nedbrytning. Om man har ett tillskott av förna från träd, markvegetation (fält- och bottenskikt) och organismer samt rötter (från träd och markvegetation) som är större än avgången av koldioxid från nedbrytning (av färskt och äldre organiskt material), kan marken bli en sänka för kol. Nedbrytning styrs dels av tillgång på syre, dels av förutsättningar i form av vilket organiskt material som finns och som tillförs, pH-värde, temperatur etc. Är miljöförutsättningarna inte gynnsamma kan nedbrytningen gå långsamt även om det finns tillgång till syre.

För näringsrik dikad torvmark i södra Sverige indikerar resultaten (från fältmätningar och modelleringar) att ökningen i nettoavgång av koldioxid från marken till följd av dikning är i storleksordningen 6–26 ton koldioxid per hektar och år. Det finns osäkerheter, framför allt när det gäller storleken på de olika posterna i markens kolbalans (som används för att räkna fram nettoavgången av koldioxid från marken). Vår slutsats efter att ha granskat de studier som gjorts i detalj, är dock att de osäkerheter som finns för dessa marker inte är så stora att de ändrar huvudslutsatsen.

## 5 Några identifierade kunskapsluckor

Bedömningar saknas av kolbalanser för dikad torvmark för hela omloppstiden, särskilt i boreal zon. I tempererad zon finns en del modelleringar gjorda där man försökt skatta kolbalansen för hela omloppstiden men fler sådana studier behövs.

De resultat som hittills publicerats av kolbalanser för dikad torvmark behöver bekräftas av fler studier från fler lokaler. I nuläget är antalet studier begränsade till en handfull uppsatser. Särskilt i tempererad zon är antalet studier få.

Det behövs mer empiriska data på de olika komponenterna i kolbalansen för dikad torvmark. Produktion av förna ovan och under jord och omsättning av rötter behöver beläggas med empiriska data. Det saknas i stort sett studier på detta vilket ger en osäkerhet i storleken på torvnedbrytningen.

Det behövs studier av effekter av återvätning på metanavgång på de typer av torvmarker som typiskt återväts eller kan komma att återvätas i Sverige, för att mer säkert ringa in vilken avgång av metan som kan förväntas efter återvätning. Majoriteten av de studier som gjorts hittills efter återvätning är från tidigare torvtäkter.

Det behövs fortsatta studier och utredningar av olika alternativ för fortsatt skogsbruk som både inbegriper att hålla nere avgång av koldioxid och avgång av metan från marken.

## 6 Litteratur/källförteckning

- Algesten G, Sobek S, Bergström A-K, Ågren A, Tranvik L & Jansson M. 2003. Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone. *Global Change Biology* **10**: 141–147.
- Andrew R A. 2018. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. *Earth Syst. Sci. Data*. 10: 195–217. <https://essd.copernicus.org/articles/10/195/2018/>
- von Arnold K, Hånell B, Stendahl J & Klemedtsson L. 2005a. Greenhouse gas fluxes from drained organic forestland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20(5): 400-411.
- von Arnold K, Nilsson M, Hånell B, Weslien P & Klemedtsson L. 2005b. Fluxes of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from drained organic soils in deciduous forests. *Soil Biology and Biochemistry* 37(6): 1059-1071.
- Berglund Ö & Eklöf T. 2019. Övergivna torvjordar i mellansverige - Rapport till Naturvårdsverket. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Berndes G, Goldmann M, Johnsson F, Lindroth A. & Wijkman A. 2018. Forests and the climate. Manage for maximum wood production or leave the forest as a carbon sink? Report from a conference held on March 12–13, 2018, in Stockholm, Sweden. KSLA T 6–2018.
- Berg S, Englund F, Jarnehammar A, Johansson R & Lindholm E-L. 2003. Kollagering i den skogsindustriella sektorn i Sverige – Beräkningar för sektorn som helhet och i byggnader. Trätek Rapport P 0302007. ISSN 1102-1071.
- Beyer C & Höper H. 2015. Greenhouse gas exchange of rewetted bog peat extraction sites and a *Sphagnum* cultivation site in northwest Germany. *Biogeosciences*, 12(7): 2101–2117.
- Bianchi T.S. 2011. The role of terrestrially derived organic carbon in the coastal ocean: a changing paradigm and the priming effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 108: 19473–19481.
- Björheden R. (red) 2019. Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan. Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid. Skogforsk, Uppsala. ISBN: 978-91-88277-08-04.
- Black-Samuelsson S, Eriksson H, Henning D, Janse G, Kaneryd L, Lundborg A & Niemi Hjulfors L. 2017. Bioenergi på rätt sätt – om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder. Rapport av Skogsstyrelsen, Energimyndigheten, Jordbruksverket och Naturvårdsverket. Skogsstyrelsen Rapport 2017:10.
- Brovkin V, Boysen L, Arora V K, Boisier J P, Cadule P, Chini L. Claussen M, Friedlingstein P, Gayler V, Hurk B, Hurtt G, Jones C, Kato E, de Noblet-Ducoudré N, Pacifico F, Pongratz J & Weiss M. 2013. Effect of anthropogenic

- land-use and land-cover changes on climate and land carbon storage in CMIP5 projections for the twenty-first century. *Journal of Climate* 26: 6859–6881.
- Bubier J L. 1995. The relationship of vegetation to methane emission and hydro-chemical gradients in northern peatlands. *Journal of Ecology* 83: 403-420.
- Cherubini F, Santaniello F, Hu X, Sonesson J, Strømman A H, Weslien J, Djupström L B & Ranius T. 2018. Climate impacts of retention forestry in a Swedish boreal pine forest. *Journal of Land Use Science* 13:301-318.  
<https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1529831>
- Cooper M D A, Evans C D, Zielinski P, Levy P E, Gray A, Peacock M, Norris D, Fenner N & Freeman C. 2014. Infilled ditches are hotspots of landscape methane flux following peatland re-wetting. *Ecosystems*, 17(7): 1227–1241.
- Couwenberg J, Thiele A, Tanneberger F, Augustin J, Bärtsch S, Dubovik D, Lishchynskaya 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
- Drott A. 2016. Kunskapssammanställning skogsbruk på torvmark. Skogsstyrelsen Rapport 2016:3.
- Eickenscheidt T, Heinichen J, Augustin J, Freibauer A & Drösler M. 2014. Nitrogen mineralization and gaseous nitrogen losses from waterlogged and drained organic soils in a black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) forest. *Biogeosciences* 11: 1–16. doi:10.5194/bg-11-1-2014
- Eklund A, Axén Mårtensson J, Bergström S, Björck E, Dahné J, Lindström L, Nordborg D, Olsson J, Simonsson L & Sjökvist E. 2015. Sveriges framtida klimat. Underlag till dricksvattenutredningen. SMHI Klimatologi Nr 14, 2015.
- Eriksson E, Gustavsson L, Gillespie A R & Langvall O. 2007. Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 671–681.
- Eriksson H. 1991. Växthusgaserna - utsläpp och åtgärder i ett internationellt perspektiv. Bilaga 1: Effekter av olika aktiviteter inom jord- och skogsbruk på den svenska koldioxidbalansen. Naturvårdsverket Rapport 4011.
- Ernfors M, Arnold K, Stendahl J, Olsson M & Klemedtsson L. 2007. Nitrous oxide emissions from drained organic forest soils—an up-scaling based on C:N ratios. *Biogeochemistry* 84(2): 219-231.
- Ernfors M, Björck R G, Noursratpour A, Rayner D, Weslien P & Klemedtsson L. 2020. Greenhouse gas dynamics of a well-drained afforested agricultural peatland. *Boreal environment research* 25: 65-89.



- Glenn S, Heyes A & Moore T. 1993. Carbon dioxide and methane fluxes from drained peat soils, southern Quebec. *Global Biogeochemical Cycles* 7(2): 247-257.
- Gower S T, Krankina O, Olson R. J, Apps M, Linder S & Wang C. 2001. Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. *Ecological Applications* Vol 11, issue 5. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1395:NPPACA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1395:NPPACA]2.0.CO;2)
- Granberg G, Mikkilä C, Sundh I, Svensson B H & Nilsson M. 1997. Sources of spatial variation in methane emission from mires in northern Sweden: a mechanistic approach in statistical modelling. *Global biogeochemical cycles* 11:135-150.
- Günther A, Barthelmes A, Huth V, Joosten H, Jurasinski G, Koebisch F & Couwenberg J. 2020. Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications* 11: 1644, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15499-z>
- 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.
- 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. Jordbruksverket rapport 2014:24
- Holmen H. 1982. Skoglig vegetationsklassificering på våtmark. SLU.
- Holmström E, Karlsson M, & Nilsson U. 2017. Modeling birch seed supply and seedling establishment during forest regeneration. *Ecological Modelling*, 352, 31-39. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.02.027>
- Huth V, Günther A, Jurasinski G. & Glatzel S. 2013. The effect of an exceptionally wet summer on methane effluxes from a 15-year re-wetted fen in north-east Germany. *Mires and Peat* 13(02): 1–7.
- Hånell B. 1984. Skogsdikningsboniteten hos Sveriges torvmarker. Rapporter skogsekologi och skoglig marklära. Rapport 50. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Hånell B. 1988. Postdrainage forest productivity of peatlands in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1443-1456.
- Hånell B. 2004. Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar i Sverige. Värmeforsk Rapport 872. ISSN 0282-3772.
- Hånell B. 2008. Handledning i bonitering, Del 4 Torvmark, praktiska anvisningar. Skogsstyrelsen.

Hånell B. 2009. Möjligheterna till höjning av skogsproduktionen i Sverige genom dikesrensning, dikning och gödsling av torvmarker. Faktaunderlag till MINT-utredningen, bilaga 4, Sveriges lantbruksuniversitet.

IPCC. 2013. Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. & Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland

Jonsson R, Blujdea V N B, Fiorese G, Pilli R, Rinaldi F, Baranzelli C & Camia A 2018. Outlook of the European forest-based sector: forest growth, harvest demand, wood-product markets, and forest carbon dynamics implications. *iForest* 11: 315-328. doi: 10.3832/ifor2636-011

Järveoja J, Peichl M, Maddison M, Soosaar K, Vellak K, Karofeld E, Teemusk A, Mander Ü. 2016. Impact of water table level on annual carbon and greenhouse gas balances of a restored peat extraction area. *Biogeosciences* 13: 2637-2651.  
<https://doi.org/10.5194/bg-13-2637-2016>

Kasimir Å, He H X, Coria J & Nordén 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

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(7): 1142-1147.

Koebisch F, Glatzel S & Jurasinski G. 2013. Vegetation controls methane emissions in a coastal brackish fen. *Wetlands Ecology and Management* 21(5): 323–337.

Komulainen V-M, Nykänen H, Martikainen P J & Laine J. 1998. Short-term effect of restoration on vegetation change and methane emissions from peatlands drained for forestry in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28(3): 402-411.

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>

Köhler S, Buffam I, Jonsson A & Bishop K. 2002. Photochemical and microbial processing of stream and soil water dissolved organic matter in a boreal forested catchment in northern Sweden. *Aquatic Science* 64: 1–13.

Leach J A, Larsson A, Wallin M B, Nilsson M B, Laudon H. 2016. Twelve year interannual and seasonal variability of stream carbon export from a boreal peatland catchment. *Biogeosciences* 121:1851-1866.

Lee S-C, Christen A, Black A T, Johnson M S, Jassal R S, Ketler R, Nestic Z & Merkens M. 2017. Annual greenhouse gas budget for a bog ecosystem undergoing

restoration by rewetting, *Biogeosciences* 14: 2799–2814.  
<https://doi.org/10.5194/bg-14-2799-2017>

Leppä K, Hökkä H, Laiho R, Launiainen S, Lehtonen A, Mäkipää R, Peltoniemi M, Saarinen M, Sarkkola S & Nieminen M. 2020. Selection Cuttings as a Tool to Control Water Table Level in Boreal Drained Peatland Forests. *Front. Earth Sciences* 09 October 2020 <https://doi.org/10.3389/feart.2020.576510>

Leskinen P, Cardellini G, González-García S, Hurmekoski E, Sathre R, Seppälä J, Smyth C, Stern T & Verkerk P J. 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. From Science to Policy 7. European Forest Institute, 28 s. ISBN 978-952-5980-69-1

Lindgren A & Lundblad M. 2014. Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC – assessment of emission factors and areas in Sweden. (Rapportering av utsläpp från dränerade organiska jordar under UNFCCC – utvärdering av emissionsfaktorer och arealer för Sverige.) Inst f Mark och miljö, SLU/Naturvårdsverket. Rapport 2014:14.

Lohila A, Minkkinen K, Aurela M, Tuovinen J P, Penttilä T, Ojanen P & Laurila T. 2011. Greenhouse gas flux measurements in a forestry-drained peatland indicate a large carbon sink. *Biogeosciences* 8(11): 3203-3218.

Lundmark T, Bergh J, Hofer P, Lundström A, Nordin A, Poudel B C, Sathre R, Taverna R. & Werner F. 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests* 5: 557-578; <https://doi:10.3390/f5040557>

Maljanen M, Liimatainen M, Hytönen J, Martikainen P J. 2014. The effect of granulated wood-ash fertilization on soil properties and greenhouse gas (GHG) emissions in boreal peatland forests. *Boreal Environment Research* 19:295–309.

Martikainen P J, Nykänen H, Crill P & Silvola J. 1992. The effect of changing water table on methane fluxes at two Finnish mire sites. *Sou* 43: 237-240.

Meyer A, Tarvainen L, Nouratpour A, Björk R G, Ernfors M, Grelle A, Kasimir Klemetsson Å, Lindroth A, Rantfors M, Rütting T, Wallin G, Weslien P & Klemetsson L. 2013. A fertile peatland forest does not constitute a major greenhouse gas sink. *Biogeosciences* 10: 7739–7758.

Minke M, Augustin J, Burlo A, Yarmashuk T, Chuvashova H, Thiele A, Freibauer A, Tikhonov V & Hoffmann M. 2015. Water level, vegetation composition and plant productivity explain greenhouse gas fluxes in temperate cutover fens after inundation. *Biogeosciences Discussion* 12(20): 17393–17452.

Minkkinen K, & Laine J. 1998. Long term effect of forest drainage on the peat carbon stores of pine mires in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 1267-1275.

Minkkinen K & Laine J. 2006. Vegetation heterogeneity and ditches create spatial variability in methane fluxes from peatlands drained for forestry. *Plant and Soil* 285(1-2): 289-304.

- Minkkinen K, Ojanen P, Penttilä T, Aurela M, Laurila T, Tuovinen J P, Lohila A. 2018. Persistent carbon sink at a boreal drained bog forest. *Biogeosciences* 15: 3603-3624.
- Minkkinen K, Vasander H, Jauhiainen S, Karsisto M & Laine, J. 1999. Post-drainage changes in vegetation composition and carbon balance in Lakkasuo mire, Central Finland. *Plant and Soil* 207: 107-120.
- Moilanen M, Hytönen J, Leppälä M. 2012. Application of wood ash accelerates soil respiration and tree growth on drained peatland. *European Journal of Soil Science* 63:467-475.
- Moore T R & Knowles R. 1990. Methane emissions from fen, bog and swamp peatlands in Quebec. *Biogeochemistry* 11(1): 45-61.
- Mustamo P, Maljanen M, Hyvärinen M, Ronkanen A-K & Klöve B. 2016. Respiration and emissions of methane and nitrous oxide from a boreal peatland complex comprising different land-use types. *Boreal Environment Research* 21:405-426.
- Nagata O, Takakai F & Hatano R. 2005. Effect of Sasa invasion on global warming potential in sphagnum dominated poor fen in Bibai, Japan. *Phyton* 45(4): 299-307.
- Nilsson M, Mikkilä C., Sundh I, Granberg G, Svensson B H & Ranney B. 2001. Methane emission from Swedish mires: National and regional budgets and dependence on mire vegetation. *Journal of Geophysical Research* 106: 20 847-20 860
- Nilsson M, Sagerfors J, Buffam I., Laudon H, Eriksson T, Grelle A, Klemetsson L, Weslien P & Lindroth A. 2008. Contemporary carbon accumulation in a boreal oligotrophic minerogenic mire - a significant sink after accounting for all C-fluxes. *Global Change Biology* 14: 2317-2332.
- 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
- Ojanen P, Minkkinen K, Alm J & Penttilä T. 2010. Soil–atmosphere CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes in boreal forestry-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 260(3): 411-421.
- Ojanen, P, Minkkinen K & Penttilä T. 2013. The current greenhouse gas impact of forestry-drained boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 289(0): 201-208.
- Ojanen P & Minkkinen K. 2020. Rewetting offers rapid climate benefits for tropical and agricultural peatlands but not for forestry-drained peatlands. *Global Biogeochemical Cycles* 34 (7) e2019GB006503, 1-16.  
<https://doi.org/10.1029/2019GB006503>

- Pearson M, Saarinen M, Minkkinen K, Silvan N & Laine J. 2012. Short-term impacts of soil preparation on greenhouse gas fluxes: A case study in nutrient-poor, clearcut peatland forest. *Forest Ecology and Management* 283(0): 10-26.
- Roulet N T & Moore T R. 1995. The effect of forestry drainage practices on the emission of methane from northern peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 491–499.
- Rudqvist L. 1999. Sveriges sumpskogar - Resultat av sumpskogsinventeringen 1990-1998. Jönköping: Skogsstyrelsen Meddelande 1999:3.
- Salm J-O, Maddison M, Tammik S, Soosaar K, Truu J & Mander U. 2012. Emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from undisturbed, drained and mined peatlands in Estonia. *Hydrobiologia* 692:41-55.
- Sarkkola S, Hökkä H, Koivisalu H, Nieminen M, Ahti E, Päivänen J & Laine J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485-1496.
- Schrier-Uijl A P, Veraart A J, Leffelaar P J, Berendse F & Veenendaal E M. 2011. Release of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from lakes and drainage ditches in temperate wetlands. *Biogeochemistry* 102: 265–279.
- Sikström U, Björk R G, Ring E, Ernfors M, Jacobson S, Nilsson M & Klemmedtson L. 2009. Tillförsel av aska i skog på dikad torvmark i södra Sverige. Effekter på skogsproduktion, flöden av växthusgaser, torvegenskaper, markvegetation och grundvattenkemi. VÄRMEFORSK Service AB, Stockholm.
- Sikström U & Hökkä H. 2015. Interactions between soil water conditions and forest stands in boreal forests with implications for ditch network maintenance. *Silva Fennica* 50: 1-29.
- Silvola J, Alm U, Ahlholm H, Nykänen P & Martikainen J. 1996. CO<sub>2</sub> fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions. *Journal of Ecology* 84: 219-228.
- Simola H, Pitkänen A & Turunen J. 2012. Carbon loss in drained forestry peatlands in Finland, Estimated by re-sampling peatlands surveyed in the 1980s. *European Journal of Soil Science* 63: 798-807.
- Skogsstyrelsen. 2019. Skogsskötsel med nya möjligheter. Skogsstyrelsen Rapport 2019:24.
- SOU 2020:4. Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande av klimatpolitiska vägvalsutredningen.
- Strack M. (Ed.) 2008. Peatlands and climate change. (Summary for policymakers) International Peat Society, Vapaudenkatu 12, 40100 Jyväskylä, Finland. ISBN 978-952-99401-1-0

- 
- Uri V, Kukumäga M, Aosaar J, Becker H, Morozov G & Karoles K. 2017. Ecosystem carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 399:82-93.
- 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.
- Väisänen S E, Silvan N R, Ihalainen A V J & Soukka R M. 2013. Peat production in high-emission level peatlands – a key to reducing climatic impacts? *Energy and Environment* 24:757-778.
- Weslien P, Kasimir-Klemedtsson Å, Börjesson G & Klemedtsson L. 2009 Strong pH influence on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes from forested organic soils. *European Journal of Soil Science* 60: 311–320.
- Wickland K. 2001. Carbon gas exchange at a southern Rocky Mountain wetland, 1996-1998. *Global Biogeochemical Cycles* 15(2): 321-335.
- 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
- Yamulki S, Anderson R, Peace A & Morison J I L. 2013. Soil CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O fluxes from an afforested lowland raised peatbog in Scotland: implications for drainage and restoration. *Biogeosciences* 10(2): 1051-1065.
- Ågren A, Jansson M, Ivarsson H, Bishop K & Seibert J. 2008. Seasonal and runoff-related changes in total organic carbon concentrations in the River Öre, Northern Sweden. *Aquatic Science* 70: 21–29.

## AV SKOGSSTYRELSEN PUBLICERADE RAPPORTER:

- 2012:1 Kommunikationsstrategi för Renbruksplan
- 2012:2 Förstudierapport, dialog och samverkan mellan skogsbruk och rennäring
- 2012:3 Hänsyn till kulturmiljöer – resultat från P3 2008–2011
- 2012:4 Kalibrering för samsyn över myndighetsgränserna avseende olika former av dikningsåtgärder i skogsmark
- 2012:5 Skogsbrukets frivilliga avsättningar
- 2012:6 Långsiktiga effekter på vattenkemi, öringsbestånd och bottenfauna efter ask- och kalkbehandling i hela avrinningsområdena i brukad skogsmark – utvärdering 13 år efter åtgärder mot försurning
- 2012:7 Nationella skogliga produktionsmål – Uppföljning av 2005 års sektorsmål
- 2012:8 Kommunikationsstrategi för Renbruksplan – Är det en fungerande modell för samebyarna vid samråd?
- 2012:9 Ökade risker för skador på skog och åtgärder för att minska riskerna
- 2012:10 Hänsynsuppföljning – grunder
- 2012:11 Virkesproduktion och inväxning i skiktad skog efter höggallring
- 2012:12 Tillståndet för skogsgenetiska resurser i Sverige. Rapport till FAO
- 2013:1 Återväxtstöd efter stormen Gudrun
- 2013:2 Förändringar i återväxtkvalitet, val av förnygring-smetoder och trädslagsanvändning mellan 1999 och 2012
- 2013:3 Hänsyn till forn- och kulturlämningar – Resultat från Kulturpolytaxen 2012
- 2013:4 Hänsynsuppföljning – underlag inför detaljerad kravspecifikation, En delleverans från Dialog om miljöhänsyn
- 2013:5 Målbilder för god miljöhänsyn – En delleverans från Dialog om miljöhänsyn
- 2014:1 Effekter av kvävegödsling på skogsmark – Kunskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen
- 2014:2 Renbruksplan – från tanke till verklighet
- 2014:3 Användning och betydelsen av RenGIS i samrådsprocessen med andra markanvändare
- 2014:4 Hänsynen till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2013
- 2014:5 Förstudie – systemtillsyn och systemdialog
- 2014:6 Renbruksplankoncept – ett redskap för samhällsplanering
- 2014:7 Förstudie – Artskydd i skogen – Slutrapport
- 2015:1 Miljöövervakning på Obsytorna 1984–2013 – Beskrivning, resultat, utvärdering och framtid
- 2015:2 Skogsmarksgödsling med kväve – Kunskapssammanställning inför Skogsstyrelsens översyn av föreskrifter och allmänna råd om kvävegödsling
- 2015:3 Vegetativt förökad skogsodlingsmaterial
- 2015:4 Global framtida efterfrågan på och möjligt utbud av virkesråvara
- 2015:5 Satellitbildskartering av lämnad miljöhänsyn i skogsbruket – en landskapsansats
- 2015:6 Lägsta ålder för förnygringsavverkning (LÅF) – en analys av följder av att sänka åldrarna i norra Sverige till samma nivå som i södra Sverige
- 2015:7 Hänsynen till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2014
- 2015:8 Uppföljning av skogliga åtgärder längs vattendrag för att gynna lövträd och lövträdetablering.
- 2015:9 Ångermanälvsprojektet – förslag till miljöförbättrande åtgärder i mellersta Ångermanälven och nedre Fjällsjälven
- 2015:10 Skogliga konsekvensanalyser 2015–SKA 15
- 2015:11 Analys av miljöförhållanden – SKA 15
- 2015:12 Effekter av ett förrändrat klimat–SKA 15
- 2015:13 Uppföljning av skogliga åtgärder längs vattendrag för att gynna lövträd och lövträdetablering
- 2016:1 Uppföljning av biologisk mångfald i skog med höga naturvärden – Metodik och genomförande
- 2016:2 Effekter av klimatförändringar på skogen och behov av anpassning i skogsbruket
- 2016:3 Kunskapssammanställning skogsbruk på torvmark
- 2016:4 Alternativa skogsskötselmetoder i Vildmarksriket – ett pilotprojekt
- 2016:5 Hänsyn till forn- och kulturlämningar – Resultat från Hänsynsuppföljning Kulturmiljöer 2015
- 2016:6 METOD för uppföljning av miljöhänsyn och hänsyn till rennäringen vid stubbskörd
- 2016:7 Nulägesbeskrivning om nyckelbiotoper
- 2016:8 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Genomgång av ansvar vid utförande av skogliga förändringar, ansvar för tillsyn samt ansvar vid inträffad skada
- 2016:9 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Exempelsamling
- 2016:10 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Metodik för identifiering av slänter och raviner känsliga för vegetationsförändringar till följd av skogsbruk eller exploatering
- 2016:11 Möjligheter att minska stabilitetsrisker i raviner och slänter vid skogsbruk och exploatering – Slutrapport
- 2016:12 Nya och reviderade målbilder för god miljöhänsyn – Skogssektors gemensamma målbilder för god miljöhänsyn vid skogsbruksåtgärder
- 2016:13 Målanpassad ungskogsskötsel
- 2016:14 Översyn av Skogsstyrelsens beräkningsmodell för bruttoavverkning
- 2017:2 Alternativa skötselmetoder i Råndalen – Ett projekt i Härjedalen
- 2017:4 Biologisk mångfald i nyckelbiotoper – Resultat från inventeringen – ”Uppföljning biologisk mångfald” 2009–2015
- 2017:5 Utredning av skogsvårdslagens 6 §
- 2017:6 Skogsstyrelsens återväxtuppföljning – Resultatet från 1999–2016
- 2017:7 Skogsträdens genetiska mångfald: status och åtgärdesbehov
- 2017:8 Skogsstyrelsens arbete för ökad klimatanpassning inom skogssektorn – Handlingsplan
- 2017:9 Implementering av målbilder för god miljöhänsyn – Regeringsuppdrag

- 2017:10 Bioenergi på rätt sätt – Om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder – En översikt initierad av Miljömålsrådet
- 2017:12 Projekt Mera tall! – 2010–2016
- 2017:13 Skogens ekosystemtjänster – status och påverkan
- 2018:1 Produktionshöjande åtgärder – Rapport från samverkansprocess skogsproduktion
- 2018:2 Effektiv skogsskötsel – Delrapport inom Samverkan för ökad skogsproduktion
- 2018:3 Infrastruktur i skogsbruket med betydelse för skogsproduktionen: Nuläge och åtgärdsförslag – Rapport från arbetsgrupp 2 inom projekt Samverkansprocess skogsproduktion
- 2018:4 Åtgärder för att minska skador på skog – Rapport från samverkansprocess skogsproduktion
- 2018:5 Samlad tillsynsplan 2018
- 2018:6 Uppföljning av askåterföring efter spridning
- 2018:7 En analys av styrmedel för skogens sociala värden – Regeringsuppdrag
- 2018:8 Tillvarata jobbpotentialen i de gröna näringarna – Naturnära jobb – Delredovisning av regeringsuppdrag
- 2018:9 Slutrapport – Gemensam inlämningsfunktion för skogsägare – Regeringsuppdrag
- 2018:10 Nulägesbeskrivning av nordvästra Sverige
- 2018:11 Vetenskapligt kunskapsunderlag för nyckelbiotopsinventeringen i nordvästra Sverige
- 2018:12 Statistik om skogsägande/Strukturstatistik
- 2018:13 Föreskrifter för anläggning av skog – Regeringsuppdrag
- 2018:14 Tillvarata jobbpotentialen i de gröna näringarna – Naturnära jobb – Delredovisning av regeringsuppdrag
- 2018:15 Förslag till åtgärder för att kompensera drabbade i skogsbruket för skador med anledning av skogsbränderna sommaren 2018 – Regeringsuppdrag
- 2019:1 Indikatorer för miljö kvalitetsmålet Levande skogar
- 2019:2 Fördjupad utvärdering av Levande skogar 2019
- 2019:3 Den skogliga genbanken – från storhetstid till framtid
- 2019:4 Åtgärder för en jämställd skogssektor
- 2019:5 Slutrapport Tillvarata jobbpotentialen i de gröna näringarna – Naturnära jobb
- 2019:6 Nya målbilder för god miljöhänsyn vid dikesrensning och skyddsdikning
- 2019:7 Återkolonisering av hjortdjur inom brandområdet i Västmanland
- 2019:8 Samverkan Tiveden
- 2019:9 Samlad tillsynsplan 2019
- 2019:10 Förslag till åtgärder på kort och lång sikt för att mildra problem i områden med multiskadad ungskog i Västerbottens- och Norrbottens län
- 2019:11 Föryngringsarbetet efter skogsbranden i Västmanland 2014
- 2019:12 Utveckling av metod för nyckelbiotopsinventering i nordvästra Sverige
- 2019:13 Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder – Kunskapsunderlag
- 2019:14 Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder – Vägledning
- 2019:15 Underlag för genomförande av direktivet om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor
- 2019:16 Skogsbrukets kostnader för viltskador
- 2019:17 Omvärldsanalys svensk skogsnäring
- 2019:18 Statistik om formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark – Redovisning av regeringsuppdrag
- 2019:19 Attityder till nyckelbiotoper – Nulägesbeskrivning 2018
- 2019:20 Kulturmiljöer – en självklar del i skogslandskapet
- 2019:21 Skogssektorns gemensamma målbilder för god miljöhänsyn – nya och reviderade målbilder. Målbilder för kulturmiljöer/övriga kulturhistoriska lämningar
- 2019:22 Samlad tillsynsplan 2019
- 2019:23 Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder
- 2019:24 Skogsskötsel med nya möjligheter – Rapport från Samverkansprocess skogsproduktion
- 2019:25 Mera Tall 2016-2019 – Redovisning/utvärdering (av annat projekt än regeringsuppdrag)
- 2020:1 Inverkan av skogsbruksåtgärder på kvicksilvers transport, omvandling och upptag i vattenlevande organismer
- 2020:2 Registrering av nyckelbiotoper i samband med avverkningsanmälningar och tillståndsansökningar Syntes och rekommendationer
- 2020:3 The second report on The state of the world 's forest genetic resources
- 2020:4 Forest management in Sweden Current practice and historical background
- 2020:5 Kontrollinventering av hänsynsuppföljningen före avverkning – Analys
- 2020:6 Utveckling och samverkan om nyckelbiotoper 2017-2019
- 2020:7 Skattning av avverkningsvolymerna – En kvalitetsstudie
- 2020:8 Viltskadeinventering 2020 i brandområdet från 2014 i Västmanland
- 2020:9 Frivilliga avsättningar – förslag på system för uppföljning av geografiskt läge, varaktighet och naturvårds-kvalitet
- 2021:1 Samlad tillsynsplan 2021
- 2021:2 Naturnära jobb – att genomföra en satsning på naturnära jobb för personer som står långt från arbetsmarknaden, delrapport
- 2021:3 Marknaden för skogsråvara och skogsnäringens utveckling fram till 2035
- 2021:4 Omvärldsanalys 2020/21
- 2021:5 Behov av naturvårdande skötsel i skogar med biotopskydd och naturvårdsavtal
- 2021:6 Skogliga konsekvensanalyser 2022 - bakgrund och motiv till val av scenarier
- 2021:7 Klimatpåverkan från dikad torvtäckt skogsmark – effekter av dikesunderhåll och återvätning



## AV SKOGSSTYRELSEN PUBLICERADE MEDDELANDEN

Under 2017 slogs Skogsstyrelsens publikationer Rapport och Meddelande ihop till en med namnet Rapport.

|        |   |         |  |
|--------|---|---------|--|
| 2012:1 | Förslag på regelförenklingar i skogsvårdslagstiftningen                               | 2015:4  | Renskogsavtal och lägesbeskrivning i frågor om skogsbruk – rennäring                                     |
| 2012:2 | Uppdrag om nationella bestämmelser som kompletterar EU:s timmerförordning             | 2015:6  | Utvärdering av ekonomiska stöd   |
| 2012:3 | Beredskap vid skador på skog  | 2016:1  | Kunskapsplattform för skogsproduktion – Tillståndet i skogen, problem och tänkbara insatser och åtgärder |
| 2013:1 | Dialog och samverkan mellan skogsbruk och rennäring                                   | 2016:2  | Analys av hur Skogsstyrelsen verkar för att miljömålen ska nås   |
| 2013:2 | Uppdrag om förslag till ny lagstiftning om virkesmätning                              | 2016:3  | Delrapport – Främja anställning av nyanlända i de gröna näringarna och naturvärden                       |
| 2013:3 | Adaptiv skogsskötsel  | 2016:4  | Skogliga skattningar från laserdata  |
| 2013:4 | Ask och askskottsjukan i Sverige  | 2016:5  | Kulturarv i skogen   |
| 2013:5 | Förstudie om ett nationellt skogsprogram för Sverige – Förslag och ställningstaganden | 2016:6  | Sektorsdialog 2014 och 2015  |
| 2013:6 | Förstudie om ett nationellt skogsprogram för Sverige – omvärldsanalys                 | 2016:7  | Adaptiv skogsskötsel 2013–2015   |
| 2013:7 | Ökad jämställdhet bland skogsägare  | 2016:8  | Agenda 2030 – underlag för genomförande – Ett regeringsuppdrag   |
| 2013:8 | Naturvårdsavtal för områden med sociala värden  | 2016:9  | Implementering av målbilder för god miljöhänsyn  |
| 2013:9 | Skogens sociala värden – en kunskapssammanställning                                   | 2016:10 | Gemensam inlämningsfunktion för skogsägare   |
| 2014:1 | Översyn av föreskrifter och allmänna råd till 30 § SvL – Del 2                        | 2016:11 | Samlad tillsynsplan 2017   |
| 2014:2 | Skogslandskapets vatten – en lägesbeskrivning av arbetet med styrmedel och åtgärder   | 2017:1  | Skogens sociala värden i Skogsstyrelsens rådgivning och information                                      |
| 2015:1 | Förenkling i skogsvårdslagstiftningen – Redovisning av regeringsuppdrag               | 2017:2  | Främja nyanländas väg till anställning i de gröna näringarna och naturvärden                             |
| 2015:2 | Redovisning av arbete med skogens sociala värde                                       | 2017:3  | Regeringsuppdrag om jämställdhet i skogsbruket   |
| 2015:3 | Rundvirkes- och skogsbränslebalanser för år 2013 – SKA 15                             | 2017:4  | Avrapportering av regeringsuppdrag om frivilliga avsättningar  |

---

## PUBLICERING OCH BESTÄLLNING AV SKOGSSTYRELSENS RAPPORTER

Skogsstyrelsens rapporter publiceras som pdf-filer på vår webbplats: [www.skogsstyrelsen.se/om-oss/publikationer/](http://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/publikationer/)

Äldre publikationer kan beställas eller laddas ned i webbutiken: [shop.skogsstyrelsen.se/sv/publikationer/](http://shop.skogsstyrelsen.se/sv/publikationer/)

Skogsstyrelsen publicerar dessutom foldrar, broschyrer, böcker med mera inom skilda skogliga ämnesområden. Skogsstyrelsen är också utgivare av tidningen Skogseko.

Beställning av publikationer och trycksaker:  
Skogsstyrelsen,  
Böcker och broschyrer  
551 83 JÖNKÖPING

Telefon: 036-35 93 40, 036-35 93 00 (vx)  
e-post: [bocker@skogsstyrelsen.se](mailto:bocker@skogsstyrelsen.se)  
webbutik: [shop.skogsstyrelsen.se/sv/](http://shop.skogsstyrelsen.se/sv/)

I den här rapporten redovisar Skogsstyrelsen resultatet av en utredning om klimatpåverkan från dikad torvtäckt skogsmark. Utredningen är ett av de uppdrag som riktats till Skogsstyrelsen inom Samverkansprocess skogsproduktion. Rapporten innehåller en sammanställning av kunskap och analys av klimatpåverkan av fortsatt dikesunderhåll, respektive höjning av grundvattenytan genom återvätning.