

RAPPORT 2022/15

Översikt av åtgärder för ökad kolsänka i skogen

Kunskapsunderlag



© Skogsstyrelsen 2022

Dnr 2021/2362

Projektledare

Johan Wester

Författare

Andreas Drott

Göran Hallsby

Jörgen Pettersson

Referensgrupp

Göran Berndes, Chalmers

Bengt-Gunnar Jonsson, Mittuniversitetet

Torbjörn Skytt, Mittuniversitetet

Gustaf Egnell, SLU

Mattias Lundblad, SLU

Tomas Lundmark, SLU

Matthias Peichl, SLU

Gustav Stål, SLU

Omslag

Foto: Michael Ekstrand

Formgivare

Ann Giss

Innehåll

Förord	6
Sammanfattning	7
Bakgrund	7
Skogen som kolsänka	7
Några slutsatser	7
Summary	9
Background	9
The forest as a carbon sink	9
Main conclusions	9
1 Inledning	11
1.1 Syfte	11
1.2 Avgränsningar	11
1.3 Politiska mål	11
2 Skogen som kolsänka	13
2.1 Flöden, sänkor, källor och förråd	13
2.2 Utgångsläge, tidsperspektiv och avgränsningar	14
Kolförråd i träd	14
Kolförråd i skogsmark	15
Fossilt och biogent kol	15
Samspelet mellan rumslig avgränsning och tidsperspektiv	16
Permanens och tidsperspektiv för kollager	16
Avverkning, kolförråd i produkter och substitution	16
Några avgränsningar	17
3 Åtgärder för ökad kolinlagring och minskad avgång av växthusgaser	19
3.1 Återvätning av dikad torvmark	19
Potential att genomföra åtgärd	19
Effekt av åtgärd	20
Kunskapsluckor och osäkerheter	22
3.2 Åtgärder som bibehåller eller ökar trädens tillväxt	22
3.2.1 Mer intensiv skogsskötsel	23
Potential att genomföra åtgärd	24
Effekt av åtgärd	24
Kunskapsluckor och osäkerheter	25
3.2.2 Minskade skogsskador	25

Potential att genomföra åtgärd _____	26
Effekt av åtgärd _____	26
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	27
3.2.3 Främmande trädslag _____	27
Potential att genomföra åtgärd _____	28
Effekt av åtgärd _____	28
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	29
3.2.4 Kvävegödsling _____	29
Potential att genomföra åtgärd _____	29
Effekt av åtgärd _____	30
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	32
3.3 Åtgärder som påverkar omloppstid, skogsskötselsystem eller avsättningar _____	32
3.3.1 Förlängd omloppstid _____	32
Potential att genomföra åtgärd _____	32
Effekt av åtgärd _____	33
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	34
3.3.2 Hyggesfritt skogsbruk _____	34
Potential att genomföra åtgärd _____	35
Effekt av åtgärd _____	36
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	37
3.3.3 Avsättning av skog för naturvårdsändamål _____	37
Potential att genomföra åtgärd _____	38
Effekt av åtgärd _____	38
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	40
3.4 Minskad avverkningsnivå i produktionsskog _____	40
Potential att genomföra åtgärd _____	40
Effekt av åtgärd _____	41
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	42
3.5 Ökad lövinblandning _____	42
Potential att genomföra åtgärd _____	42
Effekt av åtgärd _____	43
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	43
3.6 Åtgärder som kan påverka kolförrådet i mark _____	44
3.6.1 Minskad uttransport av löst organiskt kol från avverkningar _____	44
Potential att genomföra åtgärd _____	44
Effekt av åtgärd _____	45
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	45
3.6.2 Mer skonsam markberedning och mindre körskador _____	46
Potential att genomföra åtgärd _____	46
Effekt av åtgärd _____	46

Kunskapsluckor och osäkerheter _____	48
3.7 Åtgärder för ökad beskogning och minskad avskogning _____	48
3.7.1 Beskogning av nedlagd jordbruksmark _____	48
Potential att genomföra åtgärd _____	48
Effekt av åtgärd _____	51
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	53
3.7.2 Minskad avskogning vid exploatering _____	54
Potential att genomföra åtgärd _____	54
Effekt av åtgärd _____	55
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	55
3.8 Åtgärder för att lagra in kol i långlivade produkter _____	55
Potential att genomföra åtgärd _____	56
Effekt av åtgärd _____	56
Kunskapsluckor och osäkerheter _____	57
4 Diskussion av några centrala frågor _____	58
4.1 Osäkerheter _____	58
Permanens och risker med skogsskador i ett förändrat klimat _____	58
Läckage _____	58
Substitution _____	59
4.2 Målkonflikter och synergier med andra samhällsmål _____	59
5 Några slutsatser _____	60
6 Litteratur/källförteckning _____	62

Förord

I juni 2021 fick Skogsstyrelsen ett regeringsuppdrag om att strategiskt planera arbetet för ökad kolsänka. Den här rapporten har tagits fram på initiativ av Skogsstyrelsen i anslutning till det uppdraget. Den genomgång av åtgärder som görs i rapporten ska kunna utgöra ett underlag för strategisk planering. De åtgärder som tagits med i rapporten ska inte uppfattas som Skogsstyrelsens förslag på vad som bör göras, utan rapporten utgör ett kunskapsunderlag.

Vi vill tacka den referensgrupp med forskare som varit ett viktigt stöd i arbetet: Göran Berndes, Chalmers; Bengt-Gunnar Jonsson och Torbjörn Skytt, Mittuniversitetet; Gustaf Egnell, Mattias Lundblad, Tomas Lundmark, Matthias Peichl och Gustav Stål, SLU.

Vi vill även tacka Andreas Eriksson, Hillevi Eriksson, Magnus Magnusson, Jean-Michel Roberge och Giuliana Zanchi, Skogsstyrelsen, för värdefulla synpunkter på rapporten.

Jönköping och Umeå november 2022

Herman Sundqvist
Generaldirektör, Skogsstyrelsen

Andreas Drott
Markspecialist, Skogsstyrelsen

Sammanfattning

Bakgrund

Den här rapporten har tagits fram på initiativ av Skogsstyrelsen inom projektet Ökad kolsänka. Rapporten innehåller en översikt av möjliga åtgärder för ökad kolsänka på skogsmark. Rapporten utgör ett kunskapsunderlag och de åtgärder som inkluderas ska inte uppfattas som Skogsstyrelsens förslag på vad som bör göras.

Skogen som kolsänka

Förråd (lager) av kol finns i levande träd, död ved samt i skogsmarken. Om flödet av kol till skogen (via fotosyntesen) är större än flödet ut från skogen (främst via respiration) är skogen en sänka för kol. Om skogen är en sänka under en viss tidsperiod, innebär detta att förrådet av kol ökar. Kolförrådet i brukad skog påverkas även av avverkningens storlek.

Förrådet av kol i levande träd i Sverige har ökat stadigt under de senaste 100 åren. Orsaken är att summan av avverkning och naturlig avgång varit lägre än tillväxten. Förrådet av markkol ner till 50 cm djup i mineraljorden är ca 1,2 gånger större än förrådet i levande träd, om inte histosoler (torvjordar) räknas in. Förrådet av markkol påverkas i viss utsträckning av hur skogsbruksåtgärder utförs.

För att beskriva den totala klimatpåverkan av en viss åtgärd behöver åtminstone effekten på kolförråd i träd och mark, kolförråd i skogsprodukter i samhället (HWP), samt substitution av andra material och bränslen, ingå. Åtgärder för att öka kolsänkan i skogen kommer i många fall också att påverka avverkningen och kan därmed påverka möjligheterna till substitution, samt lagret av kol i skogsprodukter i samhället.

I mineraljorden och i torvmark finns lager av kol med hög permanens. Kolförrådet i träd bör däremot betraktas som ett lager med lägre permanens, pga risken för olika former av skadehändelser (skogsbrand, stormfällning och angrepp av skadegörare).

Om åtgärder utförs för att öka kolsänkan i skogen i Sverige, kan det för vissa åtgärder finnas risk för att kolsänkan i stället minskar någon annanstans, så kallat läckage.

Några slutsatser

Återvätning av dikad torvmark bedöms vara en åtgärd med god klimatnytta, förutsatt att rätt marker återväts. För återvätning med klimatmotiv bör i första hand näringsrika dikade torvmarker i södra Sverige prioriteras. Åtgärden bör ha god permanens och risken för läckageeffekter bedöms som låg. Det är angeläget att fortsätta bygga upp kunskap om effekter av återvätning genom forskning.

Åtgärder som ökar trädens tillväxt (mer intensiv skogsskötsel, minskade skogsskador, främmande trädslag, kvävegödning) kan ge ökad kolinbindning. Detta ger ett ökat kolförråd i träd om den ökade tillväxten inte tas ut i form av ökad avverkning.

Risken för läckageeffekter bedöms som låg för de åtgärder som ökar tillväxten. För kolförråd i träd finns generellt risk för skogsskador som kan göra att koldioxid åter avgår till atmosfären. Riskerna för detta bedöms öka om skogsskötseln är mer likriktad.

De skattningar som gjorts indikerar att en av de största potentialerna finns i att undvika skogsskador, samt avgång och tillväxtnedsättningar på grund av förändrat klimat (torka etc). Riskspridning, skadeförebyggande arbete och klimatanpassning framstår därför som mycket centrala åtgärder för att vidmakthålla och ytterligare kunna öka kolförrådet i träd.

De underlag som finns indikerar att en viss förlängning av omloppstider ger en ökad klimatnytta (dvs total effekt på kolförråd i träd och mark, samt substitution) under en period. För att inte senare tappa kolförrådet, behöver man därefter behålla den nya längre omloppstiden, dvs detta kan betraktas som en ny referens. Underlagen pekar mot att förkortade omloppstider är negativt för klimatnyttan, pga lägre kolförråd i träd och mark, samt lägre substitution (pga minskad avverkningspotential).

För åtgärder som kan påverka den möjliga avverkningsnivån (omloppstider, skogsskötselsystem såsom hyggesfritt skogsbruk, avsättning av skog, ökad lövinblandning och minskad avverkningsnivå) finns risk för läckageeffekter. Mer kunskap behövs för att kunna bedöma storleken på läckageeffekten med hänsyn till geografisk skala, efterfrågan, varuslag och val av styrmedel.

Potentialen för CO₂-bindning genom beskogning av tidigare jordbruksmark är god men den positiva nettoeffekten kan förväntas dröja upp till ett par decennier för att därefter öka snabbt. ”Nedlagd jordbruksmark” saknar entydig definition. Extensivt brukad och temporärt övergiven jordbruksmark kan betraktas av Skogsstyrelsen och Riksskogstaxeringens som skogsmark även om pågående markanvändning inte justerats av länsstyrelsen.

Av de åtgärder vi gått igenom är det bara återvätning som innebär en möjlighet att skapa ett kollager med hög permanens (markkol i torvmark). De flesta åtgärder kan framför allt påverka kolförrådet i träd. Detta bör betraktas som ett mer osäkert lager, pga riskerna för skadehändelser.

För vissa åtgärder finns tydliga målkonflikter med andra samhällsmål (framför allt biologisk mångfald, sociala värden och renskötsel), medan det för andra åtgärder finns tydliga synergier. Det finns även generella målkonflikter kopplade till skogarnas täthet, efter att kolförrådet i träd under en lång period (åtminstone ca 100 år) ökat.

Summary

Background

This report has been produced at the initiative of the Swedish Forest Agency within the project Increased Carbon Sink. The report contains an overview of possible measures to increase the carbon sink in forested land. The report constitutes a knowledge base and the measures included should not be interpreted as proposals by the Swedish Forest Agency on what measures that should be carried out.

The forest as a carbon sink

There are carbon stocks in living trees, dead wood, and in the forest soil. If the flux of carbon to the forest (via photosynthesis) is larger than the flux of carbon from the forest (mainly via respiration), the forest is a sink for carbon. If the forest is a sink for carbon during a certain period of time, the carbon stock increases. The carbon stock in managed forest is also affected by the magnitude of forest harvesting.

The carbon stock in living trees in Sweden has increased steadily during the past 100 years. The reason is that the sum of forest harvesting and natural loss has been lower than forest growth. The carbon stock in the forest soil to a depth of 50 cm in the mineral soil is about 1,2 times greater than the stock in living trees, if Histosols are not included. The carbon stock in forest soil is to some extent affected by how forestry measures are carried out.

To describe the effect of a certain measure on the climate, at least the effects on carbon stocks in trees and soil, carbon stock in harvested wood products (HWP) and on substitution of other materials and energy need to be included. Measures to increase the carbon sink in the forest in many cases also will affect the magnitude of forest harvesting and thereby also the possibility for substitution, and the carbon stock in HWP.

In the mineral soil and in peat soils there are carbon stocks which can be regarded as highly permanent. The carbon stock in trees on the other hand should be regarded as a less permanent stock, due to the risk of damage by natural disturbances (forest fires, storms, and pests).

If measures are taken to increase the carbon sink in forest in Sweden, this can for some measures lead to decreased carbon sink elsewhere. This is known as leakage.

Main conclusions

Rewetting of drained peat soils is a measure with good climate benefit, if the right types of soils are chosen. For rewetting with climate as the main motive, nutrient rich drained peat soils in southern Sweden are the prioritized soil types. Rewetting is a measure with high permanency and the risk of leakage is small. It is important to continue to build up knowledge on the effects of rewetting via research.

Measures that increase tree growth (more intensive silviculture, decreased forest damage, foreign tree species, nitrogen fertilization) can result in increased carbon

uptake. This will increase the carbon stock in trees if the increased growth is not harvested.

The risk of leakage is low for measures that increase tree growth. For the carbon stock in trees there is in general a risk of damage that can cause carbon dioxide to return to the atmosphere. The risk of damage is judged to increase if the silvicultural measures used are less variable.

One of the greatest potentials is in avoiding forest damage, and preventing decreased growth due to changing climate (e.g. drought). Risk management, damage prevention and adaptation to a changing climate are therefore judged to be very important measures if the carbon stock in trees is to be sustained and further increased.

The existing knowledge base indicates that a moderate increase in rotation times will result in a climate benefit (total effect on carbon stock in trees and soil, and substitution), during a period of time. If the increased carbon stock shall not later decrease again, the longer rotation time thereafter needs to be sustained, that is, it can be regarded as a new reference. Decreased rotation times are indicated to be negative for the climate benefit, due to decreased carbon stock in trees and soil, and lower substitution (due to lower harvesting potential).

For measures that can affect the magnitude of harvesting (rotation times, silvicultural systems such as continuous cover forestry, forest set-asides, increased proportion of deciduous trees, and decreased harvesting), there is a risk of leakage. More knowledge is needed to determine the magnitude of the leakage, considering geographical scale, demand, type of product and means of control.

The potential for CO₂ uptake through afforestation of former agricultural land is good but the positive net effect is expected to be delayed for a couple of decades but then increase sharply. There is no generally accepted definition in Sweden of "former agricultural land".

Of all measures included, rewetting of drained peat soils is the only measure that gives a possibility to create a carbon stock that is highly permanent (soil carbon in peat soil). Most measures will mainly affect the carbon stock in trees. This should be regarded as a less permanent stock, due to the risk of damage by natural disturbances.

For some measures there are conflicts of interest with other objectives in society (mainly biodiversity, the social values of forests, and reindeer herding), while for other measures there are synergies. There are also general conflicts of interest between dense forests and other objectives in society, after a long time (at least 100 years) of increasing carbon stocks in trees in Sweden.

1 Inledning

1.1 Syfte

Syftet med den här rapporten är att ge en översikt av möjliga åtgärder i skogen för ökad kolinlagring och minskad avgång av växthusgaser. Rapporten ska innehålla en översiktlig beskrivning av potential, effekter, målkonflikter och synergier, osäkerheter/risker och kunskapsluckor. Den ska även ge underlag för urval av åtgärder för fördjupad analys och för skattning och bokföring av åtgärdernas effekter avseende kolinlagring och minskad avgång av växthusgaser. Översikten utgör en del av den strategiska planering som projektet Ökad kolsänka handlar om.

Översikten bör förutom de åtgärdsspecifika delarna även innehålla beskrivande texter angående:

- Skogen som kolsänka, inramning, tidsperspektiv, avgränsningar
- Pooler och flöden i skogen
- Effekter av skogsbruk
- Risker med att öka kolsänkan i skogen och hur sådana risker kan hanteras och förebyggas

1.2 Avgränsningar

Rapporten baseras huvudsakligen på befintliga publicerade underlag. I något fall har även enklare nya skattningar av åtgärders potential gjorts i rapporten. Underlag publicerade i vetenskapliga tidskrifter eller som rapporter eller PM från myndigheter till och med mars 2022 har inkluderats. Vetenskapliga publikationer genomgår en granskning före publicering, vilket inte är fallet på samma sätt med rapporter eller PM. Därför finns en viss variation i hur kvalitetssäkrat det publicerade underlaget är.

Åtgärderna analyseras var för sig och vi tar inte hänsyn till om de sker på delvis samma arealer. De arealer som inkluderas är skogsmark samt nedlagd jordbruksmark som enligt skogsvårdslagen är att betrakta som skogsmark. Genomgången av åtgärder är ett sätt att systematiskt analysera olika möjligheter till ökad kolsänka i skogen och de åtgärder som inkluderats ska inte uppfattas som Skogsstyrelsens förslag på vad som bör göras.

1.3 Politiska mål

År 2017 antog Sverige ett klimatpolitiskt ramverk med klimatmål (Regeringskansliet 2017). Det långsiktiga målet är att senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Målet innebär att utsläppen av växthusgaser från svenskt territorium ska

vara minst 85 procent lägre år 2045 jämfört med utsläppen år 1990. I målen för utsläppen inom svenskt territorium ingår inte utsläpp och upptag från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (LULUCF). De kvarvarande utsläppen ned till noll kan uppnås genom så kallade kompletterande åtgärder, där skogen ingår.

Därutöver har Sverige även etappmål till 2030 och 2040. Utsläpp av växthusgaser som omfattas av EU:s system för handel med utsläppsrätter är inte inkluderade i etappmålen. Etappmålen är:

- Utsläppen år 2030 bör vara 63 procent lägre än utsläppen år 1990.
- Utsläppen år 2040 bör vara 75 procent lägre än utsläppen år 1990.

På motsvarande sätt som för det långsiktiga målet finns även möjlighet att nå delar av målen till år 2030 och 2040 genom kompletterande åtgärder. Sådana åtgärder får användas för att klara högst åtta respektive två procentenheter av utsläppsminskningarna år 2030 och 2040.

Kompletterande åtgärder kan tillgodoräknas i enlighet med internationellt beslutade regler. Dessa åtgärder kan även bidra till negativa nettoutsläpp efter 2045. Som kompletterande åtgärder räknas:

- ökat nettoupptag av växthusgaser i skog och mark,
- verifierade utsläppsminskningar genom investeringar i andra länder, samt
- avskiljning och lagring av biogen koldioxid (bio-CCS).

Den klimatpolitiska vägvalsutredningen föreslog att Sverige bör anta en strategi för att successivt bygga upp volymen kompletterande åtgärder (SOU 2020). Strategin föreslogs ges en inriktning mot att Sverige ska åstadkomma kompletterande åtgärder som motsvarar minst 3,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter till 2030, där LULUCF bidrar med ungefär 1,2 miljoner ton. Volymen kompletterande åtgärder föreslogs därefter successivt öka för att senast 2045 uppgå till minst 10,7 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år, där LULUCF bidrar med minst 2,7 miljoner ton.

Utöver nationellt beslutade mål ska Sverige nå de mål som beslutas inom EU:s LULUCF-förordning. År 2020 antog EU ett långsiktigt klimatmål om klimatneutralitet senast år 2050 (Europeiska unionens officiella tidning 2021). Samtidigt höjdes ambitionen till år 2030 till att åstadkomma en utsläppsminskning på 55 % jämfört med 1990. Alla rättsakter kring klimat ses över, inklusive LULUCF-förordningen. Europeiska kommissionen har i sitt förslag till ändring av LULUCF-förordningen föreslagit att EU gemensamt ska öka sin kolsänka och till 2030 ska denna uppgå till 310 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Europeiska kommissionen 2021). Sverige har i förslaget ett mål om ett nettoupptag av växthusgaser på 47,4 miljoner ton. Förhandling om förslaget pågår men dagens bedömning är att Sverige ska åstadkomma en ökad kolsänka motsvarande 4,0 miljoner ton.

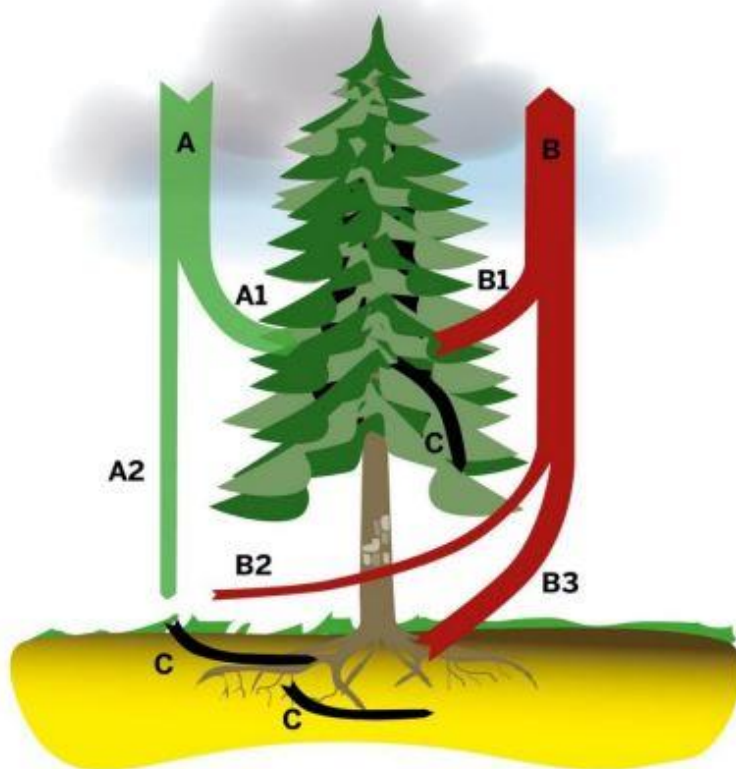
2 Skogen som kolsänka

2.1 Flöden, sänkor, källor och förråd

Ett flöde av kol till skogen från atmosfären sker när träd och vegetation tar upp koldioxid via fotosyntesen (flödena A1 och A2, Figur 1). Samtidigt sker ett flöde av kol i form av koldioxid från skogen till atmosfären från trädens och vegetationens cellandning (flödena B1 och B2, autotrof respiration) och från nedbrytning (flöde B3, heterotrof respiration). Kol omfördelas också till marken från träd, vegetation, rötter, markdjur och svampyfer. Detta kol tillförs marken i form av föra (flöde C).

Om flödet in till skogen via fotosyntesen är större än flödet ut via respiration, är skogen en sänka för kol. Nettoeffekten är då att koldioxid tas upp från atmosfären. Om flödet ut via respiration är större än flödet in via fotosyntesen, är skogen en källa till kol. Nettoeffekten är då att koldioxid avges till atmosfären. Kolbalansen påverkas också av skogsbränder, som resulterar i ett flöde av kol ut från skogen. Dessutom påverkas balansen ofta av transport av kol lateralt i marken (ej inkluderat i figuren).

Om skogen är en sänka under en viss tidsperiod kommer förrådet av kol i skogen att öka under den tidsperioden. Om i stället skogen är en källa under en viss tidsperiod, kommer förrådet av kol i skogen att minska under den perioden. I brukad skog påverkas kolförrådet även av avverkningens storlek (ej inkluderat i figuren).



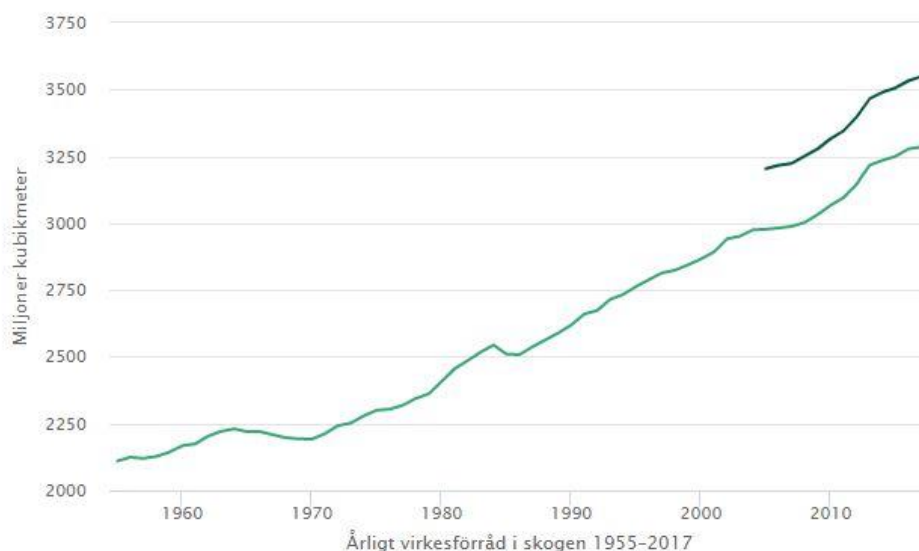
Figur 1. Huvudsakliga flöden av kol till, från och i skogen. Från Skogsskötselserien kapitel 21, förlaga: Peter Roberntz.

2.2 Utgångsläge, tidsperspektiv och avgränsningar

Kolförråd i träd

Det totala virkesförrådet i levande träd på skogsmark i Sverige är idag ca 3,5 miljarder m³sk (inklusive formellt skyddade områden, Skogsdata 2021, Riksskogstaxeringen). Detta innebär ett förråd av kol motsvarande ca 4,8 miljarder ton koldioxid i levande träd (inklusive grenar, toppar, stubbe och rötter). Virkesförrådet på produktiv skogsmark (där tillväxten bedöms vara minst 1 m³sk/ha, år) är ca 3,3 miljarder m³sk. Den absoluta merparten av kolförrådet i levande träd återfinns på skogsmark och drygt 94 % av förrådet återfinns alltså på produktiv skogsmark. Det genomsnittliga virkesförrådet per hektar i levande träd på produktiv skogsmark är ca 141 m³sk/ha, motsvarande 194 ton koldioxid/ha (exklusive formellt skyddade områden, Skogsdata 2021, Riksskogstaxeringen). Förrådet av död ved på produktiv skogsmark är ca 193 miljoner m³, varav 107 miljoner m³ är hård död ved och 86 miljoner m³ är död ved i olika stadier av nedbrytning.

I mitten av 1950-talet var virkesförrådet i levande träd på produktiv skogsmark i Sverige drygt 2,0 miljarder m³sk. Sedan 1950-talet har det alltså skett en ökning av virkesförrådet med ca 1,3 miljarder m³sk, motsvarande 1,8 miljarder ton koldioxid. Skogsbruk har bedrivits över en stor andel av arealen under den här perioden, men summan av avverkning och naturlig avgång har varit lägre än tillväxten, vilket gjort att man samtidigt som man kunnat avverka, också kunnat öka virkesförrådet. Den skogsskötsel som bedrivits har bidragit till höjd tillväxt i skogarna. De senaste 5-10 åren har virkesförrådets ökningstakt dock mattats av, vilket innebär att summan av avverkning och naturlig avgång nu närmar sig tillväxten.



Figur 2. Virkesförrådets utveckling över tid, 1955-2017. Ljusgrön färg avser förråd exklusive formellt skyddade områden och mörkgrön färg förråd inklusive formellt skyddade områden. Källa: Riksskogstaxeringen.

Potential för ytterligare ökning av virkesförrådet utifrån det utgångsläge vi har idag, kan finnas i att beskoga ytterligare arealer, till exempel nedlagd jordbruks-

mark, eller att minska avskogning då skogsmark omförs till annan markanvändning. Det kan även finnas potential i att ytterligare öka virkesförrådet på befintlig skogsareal. Samtidigt finns i dagsläget målkonflikter med koppling till täta skogar, för exempelvis renskötsel och biologisk mångfald. I och med den ökning av virkesförrådet som skett till idag (se figur 2), har glesare skogar minskat i utbredning.

Kolförråd i skogsmark

Det genomsnittliga förrådet av markkol på produktiv skogsmark ned till 50 cm djup i mineraljorden är ca 65 ton kol/ha, motsvarande 238 ton koldioxid/ha, om organiska jordar (histosoler) inte inkluderas (Markinventeringen SLU 2003-2012, exklusive formellt skyddade områden). Detta ger ett totalt förråd på produktiv skogsmark motsvarande ca 5,6 miljarder ton koldioxid, ned till 50 cm i mineraljorden. Förrådet av kol i mark på produktiv skogsmark är alltså ca 1,2 gånger större än förrådet i levande träd (inklusive grenar, toppar, stubbe och rötter), om inte histosoler inkluderas. Inkluderas histosoler blir förrådet av markkol ännu större.

I genomsnitt för produktiv skogsmark återfinns merparten av förrådet av kol i mark i mineraljorden. Fördelningen mellan humuslager och mineraljord skiljer sig åt beroende på humusform. Inlagring av kol i marken har pågått sedan slutet på den senaste istiden. Det är stor skillnad i ålder mellan markkol i olika delar av markprofilen. Nytt kol tillförs i form av färsk förna från rötter, svampmycel, träd och vegetation. En del av det kol som finns inlagrat i marken är däremot av hög ålder.

Kolförrådet i mark påverkas i viss utsträckning av skogsbruksåtgärder. Det kan alltså finnas vissa möjligheter att påverka förrådet av markkol genom anpassning av hur skogsbruksåtgärder utförs, till exempel när det gäller uttransport av löst organiskt kol från avverkade ytor till vatten.

Fossilt och biogent kol

För att skilja mellan den koldioxid som avges till atmosfären från fossila bränslen och den koldioxid som avges till atmosfären från biomassa (exempelvis från skog), brukar man använda begreppen fossilt och biogent kol. Det fossila kolet har lagrats under miljoner år och om detta avges till atmosfären innebär det ett nettotillskott, dvs det fossila kolet kommer inte att återbildas inom överskådlig tid. Det biogena kolet ingår däremot i ett relativt sett mycket snabbare kretslopp mellan landekosystemen och atmosfären. När biomassa bryts ned naturligt eller genom förbränning avges kolet till atmosfären, men tas upp på nytt när ny biomassa växer till.

Om man studerar en tidsperiod som är så kort att biomassa brutits ned, men ny biomassa inte hunnit växa till, innebär även det biogena kolet ett temporärt tillskott av koldioxid till atmosfären. Hur lång tid det tar innan ny biomassa vuxit till igen beror på vilken typ av biomassa som studeras.

Om man permanent förlorar kollager av biogent kol, till exempel vid avskogning av tidigare skogsområden, innebär detta ett permanent tillskott av koldioxid till atmosfären. Om man permanent skapar kollager av biogent kol, innebär detta ett permanent upptag av koldioxid från atmosfären. I realiteten är det svårt att garantera permanenta biogena kollager, särskilt sådana som ligger ytligt i marken eller ovan mark.

Samspelet mellan rumslig avgränsning och tidsperspektiv

Om man studerar ett enskilt bestånd i svensk skogsmark där uttag av stamved skett tar det i storleksordningen 50-150 år innan ny biomassa vuxit till som kan kompensera för uttaget. Studerar man däremot ett stort skogslandskap (en större fastighet eller hela Sveriges produktiva skogsmarksareal) med bestånd i olika ålder och där avverkning görs, men där avverkningen aldrig överstiger tillväxten på landskapsnivå, går det också att betrakta det som att en tillväxt av ny biomassa kontinuerligt sker som kompenserar för uttaget. Om det på landskapsnivå kontinuerligt sker en tillväxt, kan man se det som att landskapet även på kort sikt (enskilda år) kompenserar för de avverkningar som görs. Den rumsliga avgränsningen har alltså betydelse för vilket tidsperspektiv som blir mest relevant.

Permanens och tidsperspektiv för kollager

Det är möjligt att minska halter av koldioxid i atmosfären genom att öka lagren av kol i biomassa eller mark. Om lagren senare minskar igen, till exempel på grund av att biomassa skördas och eldas upp, eller på grund av skogsskador (skogbrand, skadegörare etc), avges koldioxiden till atmosfären igen. När vi diskuterar vilka möjligheter som finns att öka kollagret i träd eller mark är det därför centralt att göra en bedömning av hur permanenta de lagren är. Om ett lager inte är permanent kan det leda till totalt sett högre utsläpp av koldioxid till atmosfären sett i ett längre tidsperspektiv.

Om exempelvis en viss areal gallrings- eller slutavverkningsskog avsätts med syfte att öka kollagret i träd kan kollagret i träd på den arealen öka under ett antal år. Om samhället inte accepterar bortfallet av skogsråvara kan detta komma att kompenseras genom att andra material eller bränslen används, som ger upphov till utsläpp av fossil koldioxid. Alternativt kan avverkning komma att ske någon annanstans i stället (Läckage, se nedan). Skulle den avsatta skogen senare drabbas av skogsskador, kommer man då att förlora det kollager man byggt upp. Sådana aspekter behöver beaktas när olika alternativ för kolinlagring analyseras.

Avverkning, kolförråd i produkter och substitution

De skogsprodukter som framställs av avverkat virke bidrar till det lager av kol som finns i skogsprodukter i samhället (Harvested wood products, HWP). Om skogsprodukterna ersätter andra material (tex stål och betong) med produktionsprocesser som genererar fossila utsläpp av växthusgaser kan man få en substitutionseffekt pga detta. Detta uttrycks ofta med en substitutionsfaktor som anger hur

mycket koldioxidutsläppen från fossila bränslen och cement minskar per koldioxidinnehåll i skogsbiomassa. Skogsbränslen kan även ge substitution genom att ersätta fossila bränslen. För många produkter kan substitution ske i flera led, där det sista ledet ofta är utvinning av energi. Storleken på substitutionen är beroende av vilka material och bränslen som hade använts om inte skogsråvaran funnits. Om inte skogsråvaran funnits på marknaden, hade den i vissa fall inte ersatts av andra material och bränslen. I sådana fall kan man inte räkna med någon substitution.

Några avgränsningar

Systemavgränsning

För att beskriva klimatpåverkan av en viss åtgärd behöver åtminstone effekten på kolförråd i mark, kolförråd i träd, kolförråd i skogsprodukter i samhället (harvested wood products, HWP), samt substitution, ingå. Vissa scenarier kräver också att inverkan på material- och energimarknader i stort ingår.

Avgränsningen varierar i de underlag som finns publicerade för olika möjligheter att öka kolsänkan på skogsmark. Vissa underlag inkluderar till exempel inte kolförråd i produkter eller substitution, utan bara effekter på kolförråd i träd eller mark. Även om vissa underlag inte innehåller alla poster så för vi ändå resonemang om dessa och pekar på att de behöver inkluderas för att få en mer heltäckande bild av klimatpåverkan.

För åtgärden Återvätning inkluderar vi även effekten på växthusgaserna lustgas och metan, eftersom dessa behöver vara med för att mer fullständigt beskriva klimatpåverkan av åtgärden.

Klimatpåverkan av markanvändning påverkas förutom av effekter på växthusgaserna även av albedo (ytans reflektion av kortvågig solstrålning). Vi har inte inkluderat effekter på albedo här.

Tidsperspektiven i olika underlag varierar mellan några få år och flera hundra år. Vi för resonemang i både ett kortare (10-20 år) och ett längre (100 år) tidsperspektiv för att illustrera vad de olika möjligheterna kan innebära.

Läckage

Om en viss areal skogsmark avsätts med syfte att öka kollagret i träd finns det risk att avverkningen i stället ökar någon annanstans. Detta brukar kallas läckage, dvs att klimatpåverkan flyttar. Vi har kommenterat sådana aspekter för alla åtgärder vi går igenom. Vår analys i denna del är inte begränsad till Sverige utan vi ser detta i ett internationellt perspektiv.

Additionalitet

I genomgången nedan diskuteras för respektive åtgärd i vilken utsträckning som åtgärden kan bedömas vara additionell och åstadkomma ökade upptag eller minskade utsläpp av växthusgaserna som inte hade inträffat om åtgärden inte implementeras. Vissa åtgärder kan vara lättare att bedöma, exempelvis åtgärder vidtas för att aktivt beskoga områden som inte är trädbevuxna. Den additionella effekten av

ytterligare insatser för att minska skogsskador är svårare att bedöma eftersom skogsbruket redan idag arbetar för att undvika skador.

Det finns dock andra perspektiv på begreppet additionalitet som inte utgår från att bedöma effekten av respektive åtgärd separat. I olika internationella och regionala klimatregelverk används skilda regler för att skapa en referenspunkt mot vilka ökade upptag och minskade utsläpp av växthusgaser kan mätas. Denna referens kan exempelvis vara noll, baseras på nettoutsläppet för ett enskilt år, baseras på ett genomsnitt för ett flertal år, eller ett scenario över hur nettoutsläppen utvecklas i framtiden baserat på en rad antaganden.

Inom Kyotoprotokollet och i EU-lagstiftning har bokföringsmetoder utvecklats för att konstruera en skoglig referensnivå för brukad skogsmark, genom ett scenario som tar hänsyn till bl.a. skogens åldersklassfördelning, skogstillväxt, skötselmetoder och avverkningsnivå. Vad som sedan kan tillgodoräknas mot de nationella klimatmålen kan därefter beräknas med hänsyn till uppmätta upptag och utsläpp av växthusgaser, referensnivån och beslutade regler för uppföljning. Denna metod tar inte hänsyn till additionaliteten för respektive enskild åtgärd, utan består av ett samlat resultat för en markkategori (såsom brukad skogsmark) på nationell nivå.

Antaganden om avverkningsnivåer

Antaganden om avverkningsnivåer är i många fall avgörande för om en åtgärd leder till ökat kolförråd i träd, eller till ökad avverkning. I exempelvis SKA-analysernas bedömning av högsta möjliga hållbara avverkningsnivå antas att hela den tillgängliga tillväxten (nettotillväxten) avverkas på virkesproduktionsmark (produktiv skogsmark som inte är formellt skyddad, frivilligt avsatt eller ingår som hänsynsytor i den generella hänsynen) vilket gör att åtgärder som ökar trädens tillväxt där inte leder till ökat kolförråd, utan i stället tas ut i form av ökad avverkning. När vi beskriver effekten av olika åtgärder beskriver vi även vilka förutsättningar som använts i olika underlag när det gäller avverkningsnivåer.

3 Åtgärder för ökad kolinlagring och minskad avgång av växthusgaser

3.1 Återvätning av dikad torvmark

När en torvmark dikas sänks grundvattenytan vilket gör att tillgången på syre ökar. Ökad tillgång på syre leder till ökad nedbrytning vilket innebär att man kan få en förlust av kol från marken, i form av koldioxid. Om marken är mer kväverik kan man också få en ökad avgång av lustgas efter dikning. Avgången av metan minskar däremot jämfört med ett odikat tillstånd. Dikning leder i många fall till att trädutväxten ökar.

Återvätning innebär att grundvattenytan på en dikad mark höjs till en nivå nära den som fanns i torvmarken före dikning. Detta kan leda till minskad avgång av koldioxid och lustgas och ökad avgång av metan. En torvmark i odikat eller återvätt tillstånd är normalt en sänka för kol, dvs tillskottet av kol till marken är större än avgången av koldioxid. Återvätning innebär alltså att man både minskar pågående utsläpp av växthusgaser och återskapar en kolsänka.

Eftersom klimateffekten av återvätning till stor del är beroende av effekterna på växthusgaserna lustgas och metan, som har en större klimatvärmende effekt än koldioxid, beskrivs inte bara effekter av åtgärden på kolförrådet i det här avsnittet. Avsnittet beskriver hela klimateffekten av återvätning, inklusive effekten av metan och lustgas, samt effekter på kolförråd i träd, kolförråd i skogsprodukter och substitution.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Det finns ca 0,8 miljoner hektar dikad torvmark (med minst 30 cm torvtäcke) i Sverige som är produktiv skogsmark (utanför formellt skyddade områden, Riksskogstaxeringen 2015-2019). Om återvätning genomförs på delar av denna areal kan avgången av lustgas och koldioxid minska medan avgången av metan kan öka. Det är skillnaden mellan utsläppen före och efter återvätningen som man kan tillgodoräkna sig i uppföljningen mot klimatmålen. I klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020:4) gjordes en grov skattning att ca 100 000 hektar dikad torvmark på skogsmark vore möjlig att återväta och att detta tillsammans med återvätning av 10 000 hektar jordbruksmark skulle kunna ge en utsläppsminskning på ca 1 miljon ton CO₂ per år.

Målkonflikter och synergier

Om återvätning genomförs minskar markens bärighet vilket påverkar möjligheterna till framtida uttag av virke. Trädens tillväxt blir i många fall lägre efter återvätning.

Vid återvätning med klimatmotiv prioriteras i första hand näringsrika dikade torvmarker i södra Sverige. Återvätning av sådana marker bedöms ofta vara positivt även för biologisk mångfald.

Om näringsrika klibbalkärr ingår bland de objekt som återväts, bedöms detta bidra till minskad metylkvicksilverbelastning, eftersom en nedbrytning av metylkvicksilver sker i sådana miljöer.

Beroende på våtmarkernas läge i landskapet kan återvätning i vissa fall vara positivt för landskapets vattenhushållning och minska risker för torka och översvämningar. I skogslandskap har dock återvätning liten effekt på grundvattentillgången, i sådana fall där terrängen är småkuperad och dominerad av hällar och morän. Om en torvmark ligger i anslutning till ett grundvattenmagasin i en ås kan däremot en återvätning ha positiv effekt på grundvattentillgången (SGU 2019).

Hinder

Det finns praktiska aspekter som gör att återvätning inte kommer att kunna genomföras på hela arealen med dikad torvmark. Återvätning innebär att diken pluggas eller läggs igen och det behöver vara möjligt att åstadkomma en höjning av grundvattenytan så att den då hamnar på en liknande nivå som innan området dikades.

Effekt av åtgärd

Bedömning av effekt

Skogsstyrelsen har sammanställt och analyserat kunskap om klimatpåverkan från dikad torvtäckt skogsmark och effekter av återvätning (Skogsstyrelsen 2021). Bedömningen av effekter har gjorts som skillnaden mellan det dikade tillståndet och tillståndet efter återvätning. I bedömningen har ingått markens växthusgasbalans, kolförråd i träd, kolförråd i produkter och substitution. Tidigare kunskapssammanställningar (Jordbruksverket 2014, Lindgren och Lundblad 2014) har endast fokuserat på markens flöden.

Sammanställningen visar att det finns betydande skillnader i växthusgasbalans mellan olika kategorier av dikade torvmarker. Effekten av återvätning på markens växthusgasbalans skiljer sig därför åt mellan olika marker. Markerna kan grovt indelas enligt nedan, där effekten, dvs den minskning av utsläppen som återvätning kan ge, anges för respektive kategori av mark (växthusgasernas klimatpåverkan har här beräknats i ett 100-årsperspektiv, GWP 100):

-Näringsrik dikad torvmark i södra Sverige: 6-26 ton CO₂e/ha, år (den högre siffran är representativ för näringsrik dikad torvmark i södra Sverige med en tidigare historik av jordbruk, som efter dikning är väldränerad)

-Mindre näringsrik dikad torvmark i södra Sverige och näringsrik dikad torvmark i norra Sverige: 1,3-1,4 ton CO₂e/ha, år (i vissa fall 10 ton CO₂e/ha, år)

-Näringsfattig dikad torvmark i norra Sverige: 0 ton CO₂e/ha, år (dvs dikningen har inte inneburit någon ökad avgång av växthusgaser från marken).

När man studerar effekter på trädskiktet i ett 100-årsperspektiv så är det förändringen i kolförråd i det tidsperspektivet som är relevant att belysa. Även om vissa bestånd kan ha en hög inbindning av kol i trädskiktet under delar av omloppstiden då tillväxten är hög, så kan inte inbindningen fortsätta i den takten i ett 100-års-

perspektiv. Data från Riksskogstaxeringen (2015-2019) som redovisas i Skogsstyrelsen 2021 visar att genomsnittligt kolförråd i träd för dikad torvmark motsvarar ca 220 ton CO₂/ha, medan genomsnittligt kolförråd för odikad torvmark motsvarar ca 211 ton CO₂/ha. Många av de torvmarker som dikats har alltså även före dikning haft ett trädsikt. Skogsstyrelsens tolkning är att torvmarker efter återvätning i ett 100-årsperspektiv kan förväntas få ett trädsikt med ett kolförråd i ungefär samma storleksordning som medelförrådet på den dikade marken. Detta innebär att man i 100-årsperspektivet i genomsnitt inte får någon stor förlust av kolförråd i träd på grund av återvätning. Trädslagsblandningen blir dock anorlunda, med ett större inslag av löv, och tillväxten blir lägre. Återvätning med klimatmotiv är av flera skäl framför allt aktuellt på marker med låga virkesförråd. Detta innebär ofta att skogen nyligen avverkats eller att nedlagd jordbruksmark nyligen ställts om till skogsmark.

Skattning av substitution i Skogsstyrelsen 2021 baserades på substitutionsfaktorer från framför allt Lundmark m fl 2014 (men även Leskinen m fl 2018). Nuvarande substitution skattades till 0,3-1,0 ton CO₂ per hektar och år i undvikna utsläpp från andra material och bränslen för det extra virke som produceras pga dikningen. De högre värdena gäller för mer bördig mark och de lägre för magrare mark. Framtida substitution (om ca 100 år) skattades till 0-0,2 ton CO₂ per hektar och år. Att framtida substitution blir lägre beror på att klimatpåverkan från andra material och bränslen förväntas bli lägre i framtiden, samt att dikad torvmark utgör en begränsad andel av all areal skogsmark, och att det därför finns en konkurrens från virke från fastmark.

Den extra lagerökning i skogsprodukter (HWP) som dikningen gett upphov till skattades till 0,07-0,14 ton CO₂ per hektar och år, dvs detta var en liten post i den totala balansen.

I Skogsstyrelsen 2021 gjordes inte någon uppskalning av effekten (dvs det gjordes ingen beräkning av effekten för hela Sverige utan resultaten uttrycktes bara per hektar och år för olika typer av marker). Orsaken till att detta inte gjordes var att det bedömdes vara för osäkert vilka arealer som olika emissionsfaktorer är representativa för.

I den klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020:4) gjordes en grov skattning att ca 100 000 hektar dikad torvmark på skogsmark vore möjlig att återväta och att detta tillsammans med återvätning av 10 000 hektar jordbruksmark skulle kunna ge en utsläppsminskning på ca 1 miljon ton CO₂ per år. Innan kunskapen är mer fullständig är det svårt att göra en mer exakt bedömning av vilken den verkliga potentialen är. Det behövs också mätning av växthusgasbalanser på fler platser för att mer säkert kunna bedöma vilka arealer olika mätresultat är representativa för.

Permanens och risker

Om en återvätning med klimatmotiv genomförs innebär detta i regel att grundvattenytan höjs till en nivå liknande den som fanns i torvmarken före dikning. Detta åstadkoms genom att diken pluggas eller läggs igen. När grundvattenytan höjs kommer vegetationen att förändras och diken kommer på sikt att växa igen.

Återvätning bör betraktas som en långsiktig åtgärd, och det bedöms inte som sannolikt att man kommer att återväta områden för att ett par årtionden senare återkomma och ta upp dikena på nytt. Bland annat därför har ett långsiktigt perspektiv bedömts vara mest relevant när klimatpåverkan av återvätning analyseras.

I Skogsstyrelsen 2021 gjordes även en analys i 20-årsperspektivet, främst för att belysa riskerna med ökad metanavgång efter återvätning. Denna analys visade att för de dikade torvmarker som har högst avgång av växthusgaser (dikad, välldränerad, näringsrik torvmark i södra Sverige) ger återvätning en klimatnytta i ett 20-årsperspektiv, trots den ökade avgång av metan som sker. För övriga marker gör metanavgången att det krävs ett längre tidsperspektiv för att uppnå klimatnytta. I 20-årsperspektivet kan klimatpåverkan för enskilda objekt se mycket olika ut beroende på tillväxten i trädskiktet och den inbindning av kol som sker där. Återvätning är dock av flera skäl framför allt aktuellt på marker med låga virkesförråd.

Additionalitet

När en återvätning genomförs med klimatmotiv bör denna åtgärd betraktas som additionell. I nuläget utgår även statligt bidrag till markägare för att genomföra återvätning med klimatmotiv. Det är troligt att dessa åtgärder inte hade kommit till stånd utan bidraget, vilket stärker bilden av att detta bör betraktas som additionella åtgärder.

Läckage

Huvudsyftet med återvätning med klimatmotiv är att minska avgången av växthusgaser från marken och återfå kolsänkan där. Om man återväter på ett område bedöms inte detta leda till att nya diken tas upp på andra områden. Förrådet av kol i träd bedöms i genomsnitt inte förändras väsentligt på grund av återvätning, i ett 100-årsperspektiv. Risken för läckageeffekter bedöms därför som låg. (Notera att begreppet läckage här betyder att klimatpåverkan flyttar, till exempel genom att avverkningar flyttar om vissa arealer skogsmark avsätts. Det är alltså inte läckage av organiskt material till vattendrag, eller liknande, som avses.)

Kunskapsluckor och osäkerheter

I Skogsstyrelsen 2021 dras slutsatsen att ytterligare studier krävs för att göra bilden mer komplett av på vilka marker återvätning kan göra en klimatnytta och hur stor nyttan är. Bland annat behöver de resultat som hittills publicerats av kolbalanser bekräftas av fler studier från fler lokaler. Det behövs också mer empiriska data på de olika komponenterna i kolbalansen, för att minska osäkerheten när det gäller storleken på torvnedbrytningen. Mer kunskap behövs också om metanavgång på de typer av torvmarker som typiskt återväts i Sverige. De flesta studier som gjorts av detta hittills är från återvätning av tidigare torvtäcker.

3.2 Åtgärder som bibehåller eller ökar trädens tillväxt

Det finns ett antal åtgärder som bibehåller eller ökar trädens tillväxt: mer intensiv skogsskötsel, minskade skogsskador, främmande trädslag och kvävegödsling. De

underlag som finns för att bedöma effekterna har oftast hanterat flera sådana åtgärder tillsammans, vilket gör att det är svårt att separera effekterna av olika åtgärder.

I SLU 2019 ingick en bedömning av påverkan på kolförråd och substitution av att genomföra scenariot Produktion från SKA 08, i tidsperspektivet 100 år (2010-2110). Detta scenario bygger på en kombination av olika tillväxthöjande åtgärder: förbättrade föryngringar, ökad användning av contortatall, kvävegödsling, behovsanpassad gödsling, beskogning av nedlagd jordbruksmark etc. Scenariot kan jämföras med referensnivån för brukad skogsmark från SLU 2019, som baserades på parametrar från SKA 15 och SKA 08. Både i referensnivån och i scenariot Produktion ingick den tillväxthöjande effekten av ett förändrat klimat, baserat på en ökning av den globala medeltemperaturen med 2 grader (RCP4,5). Efter 100 år hade detta resulterat i en tillväxtökning på ca 25 miljoner m³sk/år, eller 19 % jämfört med motsvarande scenario utan klimateffekt. I båda dessa scenarier antogs också att hela nettotillväxten avverkades, vilket gjorde att tillväxtökningen i huvudsak togs ut som ökad avverkning.

Skillnaderna mellan scenariot Produktion och referensnivån ökade över tid under den 100-årsperiod som analyserades. För perioden 2021-2025 gav scenariot Produktion jämfört med referensnivån ett totalt årligt upptag i levande biomassa, markkol, död ved och skogsprodukter motsvarande 0,6 miljoner ton CO₂e/år. Man beräknade substitution med en faktor av 1 ton CO₂/m³sk. Detta resulterade i 1 miljon ton CO₂/år i undvikna utsläpp från andra material och bränslen. Totalt gav alltså scenariot Produktion en ökad klimatnytta på 1,6 miljoner ton CO₂e/år för perioden 2021-2025 enligt dessa beräkningar. För perioden 2101-2105, dvs i slutet av den analyserade tidsperioden, hade klimatnyttan ökat till 21 miljoner ton CO₂e/år (SLU 2019).

Generellt bör noteras att en förutsättning för att ökad tillväxt ska ge högre kolförråd i träd är att den ökade tillväxten inte tas ut i form av ökad avverkning. Om en ökad tillväxt tas ut i form av ökad avverkning kan dock produkterna (förutom att fortsätta lagra kol) bidra till substitution av andra material och bränslen.

3.2.1 Mer intensiv skogsskötsel

Det som avses med åtgärden är en intensifiering av den skogsskötsel som oftast bedrivs i Sverige idag. Skogsskötseln bygger på en modell med trakthyggesbruk. Skogen föryngringsavverkas genom att hyggen tas upp. Föryngring sker huvudsakligen genom plantering men på en del av arealen sker naturlig föryngring med fröträd. Ungskogen röjs och skogen gallras ofta minst en gång innan den föryngringsavverkas på nytt. Föryngringsavverkning sker oftast vid en ålder av 50-120 år beroende på hur bördig marken är och var i Sverige skogen växer. I genomsnitt sker föryngringsavverkning vid 101 års ålder (Riksskogstaxeringen 2021).

Genom att ytterligare utveckla och intensifiera den skogsskötsel som bedrivs kan tillväxten i skogarna öka. Högre tillväxt ger högre kolförråd om den ökade tillväxten inte avverkas.

Åtgärden handlar framför allt om att välja det trädslag som är mest lämpligt på respektive plats, att få en snabb och säker återväxt och att använda förädlat plantmaterial. Andra åtgärder som kan höja tillväxten ytterligare, till exempel främmande trädslag och gödsling med kväve, tar vi upp separat.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Åtgärden kan potentiellt genomföras på hela arealen med produktiv skogsmark i Sverige, utanför formellt skyddade områden, frivilliga avsättningar och hänsynsytor (ca 18,9 miljoner hektar). Det kan dock innebära risker om skogsskötseln blir för likriktad. Skogsskador kan leda till att kolförrådet snabbt minskar. Bland annat därför finns motiv för att inte likrikta skogsskötseln i alltför hög utsträckning. Skogsskötsel för klimatanpassning och för minskade skogsskador tas upp som en separat åtgärd.

Målkonflikter och synergier

Dagens skogsskötsel missgynnar bland annat arter som är beroende av skoglig kontinuitet, död ved med olika kvalitéer, samt gamla och senvuxna träd. En intensifiering av dagens skogsskötsel med ökad tillväxt kommer troligen att leda till mindre självgallring, mindre variation i trädslag och kortare omloppstider. Om inte generell hänsyn förbättras och andra naturvårdsåtgärder genomförs, bedöms mer intensiv skogsskötsel vara negativt för biologisk mångfald.

Det finns konflikter mellan skogsbruk och renskötsel. Täckningen av marklav har minskat och täta skogar försvårar flyttning av renar. Om inte väsentliga anpassningar av skogsskötseln görs bedöms utvecklingen vara fortsatt negativ.

Dagens skogsskötsel påverkar skogens sociala värden och exempelvis stora hygen och täta ungsogar upplevs av många skogsbesökare som negativt. Om inte väsentliga anpassningar av skogsskötseln görs kan denna utveckling förväntas fortsätta.

Hinder

Enligt rådande skogspolitik har skogsägare stor frihet i att utforma skogsskötseln. Skogsägare har ofta flera mål för sitt skogsinnehav och det är inte alla skogsägare som vill sköta skogen för hög tillväxt.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Det är i praktiken svårt att separera effekten av mer intensiv skogsskötsel från andra faktorer som påverkar tillväxten. En viktig sådan faktor är den tillväxthöjande effekten av ett förändrat klimat.

Permanens och risker

För kolförråd i stående skog finns risk för skogsskador som kan göra att den ökade kolinbindning som en mer intensiv skogsskötsel har åstadkommit förloras. När biomassan bryts ner avgår koldioxid åter till atmosfären. Riskerna för mer omfattande skogsskador bedöms öka om skogsskötseln är mer likriktad.

Additionalitet

Skogsbruket har successivt arbetat för att förbättra dagens skogsskötsel, till exempel vad gäller program för förädling av plantor. Detta gör att det är svårt att slå fast att sådana åtgärder är additionella.

Läckage

Mer intensiv skogsskötsel är en åtgärd som ökar tillväxten. Bedömningen är att detta sannolikt inte leder till att det blir mindre ekonomiskt intressant att sköta skogen för att öka tillväxten någon annanstans, dvs att detta inte ger upphov till läckageeffekter. Investeringar i skogsskötsel bedöms snarare drivas av prisbilden på skogsråvara generellt, dvs av efterfrågan.

Kunskapsluckor och osäkerheter

En stor osäkerhet när det gäller att bedöma potentialen för att öka tillväxten i framtiden genom mer intensiv skogsskötsel, är effekten av ett förändrat klimat.

3.2.2 Minskade skogsskador

Med minskade skogsskador avses här skador i vid bemärkelse, inklusive:

-skogsbrand

-storm

-torka

-viltskador

-svamp- och insektsskador

Skogsskador innebär dels att träd dör, dels att tillväxten blir nedsatt. När träd dör och bryts ned förloras det kolförråd som funnits i dessa. Risken för skogsskador medför också indirekta effekter i och med att det påverkar val av trädslag, tidpunkt för röjning etc.

Minskade skogsskador kan ge högre tillväxt och mindre avgång vilket ger högre kolförråd om tillväxten inte avverkas. I ett framtida förändrat klimat är klimatanpassning centralt för att förebygga skogsskador (Skogsstyrelsen 2019). Klimatanpassning kan bidra till att skogsskadorna blir mindre än om skogen inte klimatanpassats.

Några viktiga punkter i det mer långsiktiga arbetet med klimatanpassning är att skapa en hög grad av variation (högre andel löv- och blandskog, varierade förnyngningsmetoder och skötselsystem) för att sprida risker, att välja det trädslag som är mest lämpligt på varje plats (tex tall på torrare mark), och att sträva efter en hög stormfasthet i beståndskanter. På kortare sikt är det viktigt med väl fungerande system för övervakning och krisberedskap (Skogsstyrelsen 2019).

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Åtgärden kan potentiellt genomföras på hela arealen med produktiv skogsmark i Sverige, i första hand utanför formellt skyddade områden, frivilliga avsättningar och hänsynsytor (även om naturvårdande skötsel i vissa fall också kan bidra till att minska skador).

Målkonflikter och synergier

Det finns vissa motsättningar mellan anpassning för minskade skogsskador och mer intensiv skogsskötsel. För att förebygga skador är variation viktigt, eftersom detta sprider riskerna.

Ökad variation på både bestånds- och landskapsnivå bör vara positivt för biologisk mångfald (tex Felton m fl 2019). Det som betraktas som skador ur produktionsperspektiv är dock till viss del naturliga processer som har betydelse för många arter (tex skogsbränder). Arbete med att minska skogsskador bör därför åtföljas av god miljöhänsyn och naturvårdande skötsel (tex naturvårdsbränning).

En viktig punkt som är gemensam både inom klimatanpassning och mer intensiv skogsskötsel är att använda lämpliga trädslag på varje plats. Det finns också möjliga synergier i att minska viltskadorna.

Hinder

Enligt rådande skogspolitik har skogsägare stor frihet i att utforma skogsskötseln. Det är inte alla skogsägare som vill sköta skogen för klimatanpassning och minskade skogsskador. Detta bör ses som en långsiktig investering men det kan finnas skogsägare som har mer kortsiktiga mål. För att hantera vissa typer av skador, tex viltskador, krävs också ett kollektivt ansvarstagande vad gäller viltvården.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Riksskogstaxeringen redovisar naturlig avgång, vilket kan ge ett visst mått på potentialen i minskade skogsskador. Samtidigt fångar detta bara upp de träd som dör, dvs tillväxtnedläggningar är inte inkluderat. För perioden 2015/16-2019/20 var naturlig avgång på produktiv skogsmark inklusive formellt skyddade områden 13,3 miljoner m³sk/år vilket motsvarar 18,3 miljoner ton CO₂/år. Hur stor andel av den potentialen som är möjlig att realisera är dock svårt att bedöma.

Ett förändrat klimat innebär även en tillväxthöjande effekt som har bedömts till ca 20 % (25 miljoner m³sk/år) inom en period av 100 år (tex SLU 2019). Om skadorna hålls låga skulle den effekten kunna realiseras.

I SLU 2019 ingick ett scenario med Negativa klimateffekter. Scenariot innebar att man inte inkluderade den positiva tillväxteffekten av ett förändrat klimat som ingick i referensscenariot och övriga scenarier. Dessutom antogs att den naturliga avgången fördubblades. Detta är alltså ett exempel på hur ett scenario med ökade skador till följd av förändrat klimat skulle kunna se ut.

För perioden 2021-2025 gav scenariot Negativa klimateffekter jämfört med referensnivån ett mindre totalt årligt upptag i levande biomassa, markkol, död ved och skogsprodukter motsvarande 12 miljoner ton CO₂e/år. Substitutionen blev också ca 13 miljoner ton CO₂/år mindre än i referensscenariot, pga att avverkningen blev lägre. Man beräknade substitution med en faktor av 1 ton CO₂/m³sk. Under resten av 100-årsperioden medförde scenariot en lägre klimatnytta i storleksordningen 30-60 miljoner ton CO₂/år, jämfört med referensscenariot (SLU 2019).

Ett liknande scenario ingick även i Petersson m fl 2022, där man simulerade ett antal olika scenarier för Sverige med Heureka. I det scenario man kallade Negative climate effects on growth antog man en fördubblad naturlig avgång. Efter 200 år gav detta en uthållig avverkningsnivå (man antog att hela den tillgängliga tillväxten avverkades) på ca 57 miljoner m³sk/år, jämfört med ca 99 miljoner m³sk/år i referensscenariot.

Permanens och risker

Att arbeta för minskade skogsskador handlar till viss del om att förhindra att skadorna ökar över tid. I Riksskogstaxeringens data är den naturliga avgången förhållandevis konstant från 1955 till 2000, men är något högre efter stormarna 1967 och 1969. Efter år 2000 visar data en ökning i naturlig avgång, jämfört med perioden 1955-2000. Detta är bland annat en effekt av stormarna Gudrun (2005) och Per (2007).

Additionalitet

Skogsbruket arbetar för att hålla nere skogsskadorna och även om klimatanpassningen kan bli bättre bedömer vi att det är svårt att slå fast att åtgärder för minskade skogsskador kan betraktas som additionella.

Läckage

Bedömningen är att arbete för minskade skogsskador sannolikt inte leder till att skogsskadorna ökar på andra håll, dvs risken för läckage bedöms som liten. Däremot kan minskade skogsskador i Sverige leda till att vi får ut mer inhemskt virke, vilket eventuellt kan leda till ökad kolsänka där vi annars hämtat råvara, dvs en tänkbar ”omvänd” läckageeffekt.

Kunskapsluckor och osäkerheter

I ett framtida förändrat klimat kan skogsskadorna förväntas öka, samtidigt som det förändrade klimatet i sig bedöms kunna leda till ökad tillväxt. Det är idag svårt att bedöma hur den framtida tillväxten kan komma att påverkas totalt sett och vilken av effekterna som kan förväntas dominera. Detta hänger delvis på hur väl skogsbruket anpassas till det framtida klimatet.

3.2.3 Främmande trädslag

De främmande trädslag som kan vara aktuella är i första hand contortatall, poppel, hybridasp, hybridlärk, sitkagran, kustgran, douglasgran och silvergran. Sibirisk lärk används men räknas inte som ett främmande trädslag. Contortatall är det främmande trädslag som hittills finns etablerat på klart störst areal, ca 500 000 ha.

Främmande trädslag kan ge högre tillväxt vilket ger högre kolförråd i träd om tillväxten inte avverkas. I det här avsnittet beskrivs möjligheter till ökad kolsänka för främmande trädslag generellt, medan möjligheter till beskogning av nedlagd jordbruksmark tas upp som en separat åtgärd.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Contortatall sätts på ca 2700-4000 ha per år, medan övriga främmande trädslag tillsammans utgör ca 750 ha årligen (Skogsstyrelsens anmälan om främmande trädslag, 2012-2016). Enligt föreskrifter till 7§ skogsvårdslagen är det inte tillåtet att använda contortatall i södra Sverige. I allmänna råd anges att maximalt 14 000 ha bör förnygras med contorta årligen. Det finns alltså ett utrymme att öka den årliga ökningstakten för contorta inom gällande regelverk.

För övriga främmande trädslag bedöms den största potentialen finnas på nedlagd jordbruksmark (i första hand för hybridasp och poppel). Detta tas upp som en separat åtgärd.

Målkonflikter och synergier

För contortatall finns en konflikt med renskötseln. Täta bestånd har negativ inverkan på marklavor och contorta innebär större problem med framkomlighet vid rensarnas förflyttning än tall (tex SSR 2019).

Plantering av främmande trädslag på skogsmark innebär en förlust av arealer med inhemska trädslag, vilket är negativt för ett flertal inhemska arter. Risk för självspredning och med detta följande negativa ekologiska effekter, finns för samtliga främmande trädslag (tex Widenfalk 2015). SLU Artdatabanken klassar i nuläget contorta som en art som utgör en stor risk för den biologiska mångfalden (Strand m fl 2018).

Främmande trädslag kan bidra till riskspridning i skogsbruket. Det finns samtidigt risk för att nya skadegörare etablerar sig, som går på de främmande trädslagen.

Hinder

Att introducera främmande trädslag är generellt förenat med en lång tids utprovning av lämpliga ståndorter, studier av självspredning och ekologiska effekter, utprovning av lämpliga provenienser etc. Det är därför en lång process att introducera främmande trädslag.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Contortatall producerar i storleksordningen 30-35 % bättre än vanlig tall (tex Elfving och Norgren 1993, Rosvall och Sonesson 2011). I en beräkning av potential gjord av en arbetsgrupp inom samverkansprocess skogsproduktion antogs att merproduktionen jämfört med vanlig tall för ett representativt ståndortsindex (T 24) skulle bli ca 1,8 m³sk/ha, år (Skogsstyrelsen rapport 2018/1).

I scenariot Produktion i SKA 08 antogs en ökning av arealen contorta från 500 000 till 900 000 ha under en period av 20 år, vilket kräver att man sätter mer än det nuvarande rekommenderade taket för etablering på 14 000 ha/år.

Permanens och risker

För contortatall i norra Sverige finns erfarenheter från ca 40-50 års användning. Jämfört med vanlig tall har contortatall större barrbiomassa, vilket kan innebära ökade risker för vindfällning och snöbrott. Självspridning och därmed följande negativa ekologiska effekter är också en känd risk. För övriga främmande trädslag är riskerna sämre kända, vilket gör det svårare att överblicka dessa.

Additionalitet

Främmande trädslag används idag inom skogsbruket. Om användningen skulle öka bedömer vi att det är svårt att slå fast att ökningen kan betraktas som additionell.

Läckage

Det bedöms inte som sannolikt att en ökad användning av främmande trädslag på en viss areal skulle leda till minskad användning på en annan areal. Åtgärdens ökade upptag bedöms inte påverka upptag på andra platser.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Det är stor skillnad mellan olika främmande trädslag när det gäller hur stor kunskap och erfarenhet som finns. Contortatall har använts praktiskt under ca 40-50 år i norra Sverige vilket gör att det finns kunskap och praktisk erfarenhet därifrån. För övriga främmande trädslag finns betydligt mindre kunskap och erfarenhet av användning under svenska förhållanden.

3.2.4 Kvävegödsling

Den mest begränsande faktorn för trädens tillväxt på fastmark är tillgången på växttillgängligt kväve. Konventionell gödsling med kväve innebär tillförsel av 150 kg N/ha vid ett eller flera tillfällen i medelålders eller äldre skog. Det finns även försök med så kallad behovsanpassad gödsling. Detta innebär upprepade gödslingar redan från ungskogsfasen, där den totala givan under en omloppstid kan bli 800-1500 kg N/ha.

Kvävegödsling höjer tillväxten vilket ger högre kolförråd i träd om den ökade tillväxten inte avverkas. Kvävegödsling minskar nedbrytningen av organiskt material i marken vilket gör att förrådet av kol i marken ökar.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Sedan kvävegödsling började införas under 1960-talet har omfattningen varierat över tid. I slutet av 1970-talet var den gödslade arealen som högst med ca 200 000 ha/år. Därefter har arealen sjunkit och efter år 2000 har den varierat mellan ca 20 000 – 80 000 ha/år. Behovsanpassad gödsling har hittills endast genomförts som försöksverksamhet.

Skogsstyrelsens allmänna råd för kvävegödsling sätter begränsningar bland annat vad gäller totala rekommenderade givor, där högst 450 kg N/ha och omloppstid bör tillföras i norra Sverige, 300 kg i Mellansverige och där gödsling med kväve inte bör utföras i södra Sverige (undantaget om grot tas ut i sydöstra Sverige).

Målkonflikter och synergier

I storleksordningen 5-10 % av det tillsatta kvävet läcker normalt från beståndet i samband med gödsling och kan hamna i de vattendrag som dränerar landskapet. I försök har läckaget av kväve efter avverkning av gödslade bestånd varit relaterat till den ackumulerade kvävegivan. Det finns därmed en konflikt mellan kvävegödsling och miljömål om att minska övergödningen.

Kvävegödsling påverkar markvegetationen så att kvävegynnade gräs och örter ökar medan bärris minskar. Kvävegödsling påverkar också artsammansättningen av mykorrhizasvampar.

Kvävegödsling gör att marklavar minskar, vilket är negativt för renskötseln.

Kvävegödsling ökar inbindningen av kol i marken.

Behovsanpassad gödsling innebär en mycket större total giva av kväve som därmed också i högre grad kommer att påverka markens förråd av kväve och förändra ekosystemet mot ett mer kväverikt system.

Hinder

För att konventionell kvävegödsling ska vara möjligt behöver det finnas gödslingsvärda bestånd med välskött gallrings- eller slutavverkningsskog i norra Sverige eller Mellansverige. Det behöver också finnas ett intresse för att gödsla. Vår bedömning är att det inte finns något egentligt juridiskt eller administrativt hinder för en viss ökning av kvävegödslingen jämfört med idag, utan att detta framför allt ligger hos skogsägarna.

För att behovsanpassad gödsling ska kunna genomföras i praktisk skala krävs ändring av Skogsstyrelsens allmänna råd om kvävegödsling.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Konventionell gödsling med kväve ger i lämpliga bestånd med medelålders eller äldre skog en tillväxtökning på 10-20 m³sk/ha under en period på ca 10 år, efter tillförsel av 150 kg N/ha (tex Pettersson 1994).

Behovsanpassad gödsling har bedömts kunna ge en merproduktion på ca 10 m³sk/ha, år i stora delar av Sverige (Bergh m fl 2005, Fahlvik m fl 2009). Detta skulle kunna innebära odling av gran med mycket kortare omloppstider än idag.

I SLU 2017 gjordes en skattning av effekten av att höja den kvävegödslade arealen från ca 50 000 ha/år (basscenario från SKA 15) till ca 150 000 – 200 000 ha/år (scenariot Produktion från SKA 08). Detta gav relativt liten effekt på kolförrådet i träd, eftersom gödsling utförs 10-15 år före avverkning och skogen sedan avverkas. I SLU 2017 ingick endast kolpoolen Levande biomassa.

SLU 2017 analyserade även ett scenario med Behovsanpassad gödsling, från MINT-utredningen och med referensscenariot från SKA 08 som referens. Den intensivodlade arealen varierade här mellan 5 och 15 % av skogsmarken. Jämfört med referensscenariot gav intensivodling på 5 % av skogsmarken en ökad kollagring (i levande biomassa över och under mark) motsvarande ca 1 miljon ton CO₂ för perioden 2010-2020 och ca 4 miljoner ton CO₂ för perioden 2030-2040. Intensivodling på 15 % av skogsmarken gav motsvarande 3 miljoner ton CO₂ för 2010-2020 och 12 miljoner ton CO₂ för 2030-2040. Notera att om detta ska leda till ökad kollagring i träd även i ett längre tidsperspektiv (100 år) får inte den ökade tillväxten senare tas ut i form av ökad avverkning.

Boström m fl 2021 antog att kvävegödslingen skulle öka med 50 000 ha/år jämfört med nuläget. Detta bedömdes ge en ökad kolsänka som varierade över tiden mellan ca 0,3 och 0,6 miljoner ton CO₂/år under perioden 2021-2100. Detta inkluderade förändringar av kolförråd i levande biomassa, mark och HWP. Det är lite oklart vilka antaganden om avverkningsnivåer som gjordes här.

I SLU 2019 ingick scenariot Produktion från SKA 08, där kvävegödsling och behovsanpassad gödsling var inkluderat. Kvävegödsling antogs här genomföras på 200 000 ha/år. Behovsanpassad gödsling antogs genomföras på 1,1 miljoner ha och den arealen byggdes upp successivt under en period av 50 år. Behovsanpassad gödsling bedömdes jämfört med scenariot Referens ge en ökad tillväxt på 0,6 miljoner m³sk/år i genomsnitt under de första 10 åren (motsvarande 0,8 miljoner ton CO₂), och 2 miljoner m³sk under de 10 år som följde efter det. Under de 80 år som återstod av analysperioden bedömdes den ökade tillväxten till mellan 6,2 och 9,5 miljoner m³sk (motsvarande 8,5-13 miljoner ton CO₂). Notera även här att en förutsättning för att ökad tillväxt ska ge ökat kolförråd är att tillväxten inte avverkas.

Även Petersson m fl 2022 inkluderade ett scenario med ökad kvävegödsling. Här antogs att 200 000 ha/år med lämpliga bestånd kvävegödsledes, dvs behovsanpassad gödsling inkluderades inte. Efter 200 år gav detta jämfört med referensscenariot en ökad uthållig avverkningsnivå på ca 13 miljoner m³sk/år (man antog att hela den tillgängliga tillväxten avverkades).

Permanens och risker

För kolförråd i stående skog finns risk för skogsskador som kan göra att den ökade kolinbindning som gödslingen åstadkommit förloras. När biomassan bryts ner avgår koldioxid åter till atmosfären. Om skogen avverkas kvarstår inte det ökade kolförrådet i skogen, men en andel kan bevaras i långlivade produkter. För att återigen bygga upp kolförrådet i stående skog behöver åtgärden upprepas.

Additionalitet

Konventionell kvävegödsling används idag inom skogsbruket. Om användningen skulle öka bedömer vi att det är svårt att slå fast att ökningen kan betraktas som additionell; den behöver i så fall kunna kopplas till införda styrmedel. Införande av behovsanpassad gödsling skulle vara något som tydligt avviker från dagens situation och som därför skulle vara lättare att betrakta som additionellt.

Läckage

Det bedöms inte som sannolikt att en ökad användning av kvävegödsling på en viss areal skulle leda till minskad användning på en annan areal.

Kunskapsluckor och osäkerheter

För konventionell kvävegödsling är kunskapen om både tillväxteffekter och miljöeffekter förhållandevis god. Kunskapsläget när det gäller behovsanpassad gödsling är betydligt sämre.

3.3 Åtgärder som påverkar omloppstid, skogsskötselsystem eller avsättningar

3.3.1 Förlängd omloppstid

Om den genomsnittliga omloppstiden på skogsmarken förlängs, förväntas detta leda till ett ökat förråd av kol i både träd och mark. Om en förlängning av omloppstiden leder till minskad avverkning kan detta innebära minskad substitution av andra material och bränslen.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

I genomsnitt förnygringsavverkas svensk skog idag vid en ålder av 101 år. Avverkningsåldrarna varierar inom ett ganska brett intervall. Dels finns en variation beroende på bonitet och geografiskt läge i landet, dels inom en viss kategori av boniteter, geografiska lägen och ägare. För en viss kategori av boniteter, geografiska lägen och ägare (tex Norra Sverige, svag mark, enskilda ägare) görs minst 2/3 av avverkningen inom en period på ca 40 år (tex 80-120 år) (Skogsstyrelsen 2015).

I scenariot Differentierad omloppstid i SLU 2017 antogs omloppstiden förlängas på ca 16 % av den produktiva skogsmarksarealen. I Boström m fl 2021 räknade man med förlängd omloppstid på 18 % av den mark som användes för virkesproduktion, alternativt att omloppstiden förlängdes på 10 000 ha/år.

Målkonflikter och synergier

Förlängd omloppstid bör ha positiva effekter på biologisk mångfald. Effekterna är dock beroende av i vilka typer av skog som omloppstiderna förlängs.

Förlängd omloppstid är positivt för renskötseln, både när det gäller tillgång till bete och möjlighet till flyttning av renar.

Förlängd omloppstid är positivt för skogens sociala värden.

Om förlängd omloppstid leder till minskad avverkning kan detta leda till minskad substitution av andra material och bränslen.

På landskapsnivå kan förlängd omloppstid leda till en lägre påverkan från skogsbruk på mark och vatten (belastning av näring, tungmetaller, löst organiskt kol etc), om en lägre andel av landskapet påverkas av hyggen.

Hinder

Det finns inga direkta hinder för åtgärden. Det är dock upp till varje skogsägare att sätta mål för skogsbruket på sin fastighet och alla skogsägare har inte mål som är förenliga med en förlängd omloppstid.

Effekt av åtgärd*Bedömning/skattning*

I SLU 2017 gjordes en skattning av effekten på kolsänka av scenariot Differentierad omloppstid. Scenariot baserades på underlagsberäkningar från SKA 15. Man antog att omloppstiden skulle förlängas på ca 16 % av arealen produktiv skogsmark, samma areal som i SKA 15 använts för scenariot Dubbla naturvårdsarealer. Skogen på denna areal hade högre naturvärden än övrig skog. Förlängningen av omloppstiden innebar att genomsnittlig ålder för förnygringsavverkning på denna areal låg över 100 år, medan den för all areal låg mellan ca 70-110 år under olika skeden av beräkningsperioden.

Både under de första 50 åren och under perioden 50-100 år resulterade scenariot Differentierad omloppstid i en ökad kolsänka på ca 2 miljoner ton CO₂/år jämfört med scenariot Dagens skogsbruk. Scenariot Differentierad omloppstid innebar att avverkningen minskade med ca 2 miljoner m³sk/år under de första 50 åren, medan det inte var någon skillnad i avverkning under perioden 50-100 år.

Boström m fl 2021 räknade på två olika scenarier för förlängd omloppstid: dels en förlängning av omloppstiden med 5 år jämfört med ett referensscenario, på 18 % av den skogsmark som användes för virkesproduktion, dels att omloppstiden förlängdes med 20 år jämfört med ett referensscenario på 10 000 ha varje år. Båda dessa scenarier resulterade i en ökad kolsänka (i levande biomassa, mark och HWP) jämfört med referensscenariot på ca 2,3-7,6 miljoner ton CO₂/år under de första 20-30 åren, men därefter en mindre kolsänka jämfört med referensscenariot på ca 0,2-1,5 miljoner ton CO₂/år under de kommande 30-50 åren. Mot slutet av perioden (efter 70-80 år) resulterade scenariot där omloppstiden förlängdes på 10 000 ha/år i en ökad kolsänka jämfört med referensscenariot, på 0,1-1 miljon ton CO₂/år.

Dessa skattningar visar att en förlängning av omloppstiden kan öka kolsänkan i träd och mark under en längre period (upp till 100 år), men samtidigt kan avverkningen under samma period minska.

Lundmark m fl 2018 simulerade effekterna av förlängda omloppstider (10, 20 och 30 år) för två gran- och två tallbestånd med låg (G18, T16) respektive hög (G30, T24) bonitet, med Heureka. I analysen inkluderades kolförråd i träd och mark, kolförråd i HWP, samt substitution. För substitution användes en faktor av 0,7 ton CO₂/m³sk. Omloppstiden förlängdes i förhållande till den ekonomiskt optimerade omloppstiden, beräknad från markvärdet med 2 % ränta. Resultaten visade att en måttlig ökning (10 år) av omloppstiden för granbestånden gav både ett ökat kolförråd i träd, och ökad substitution. För tallbestånden och för de alternativ för granbestånden där förlängningen av omloppstiden var längre, ökade kolförrådet i träd, men lagringen i HWP och substitutionen minskade. I samtliga fall innebar dock resultaten att man fick en klimatnytta av att förlänga omloppstiden, när alla poster summerades.

Man inkluderade också ett scenario där omloppstiden förkortats med 10 år. Detta resulterade i både lägre kollager och lägre substitution (pga minskad avverkningspotential) och alltså totalt sett mindre klimatnytta. När det gäller förlängning av omloppstiden som klimatåtgärd, så är det viktigt att komma ihåg att detta innebär att man skapar en ny referensnivå, dvs detta kan ge en klimatnytta när omloppstiden förlängs, men därefter måste omloppstiden hållas på den nya nivån för att man inte ska förlora detta kollager igen (Lundmark m fl 2018).

Stokland 2021a redovisade mätningar under ca 20 år (ca 1995-2014) på ca 1400 provytor från norska Riksskogstaxeringen med barrskog, som passerat rekommenderad avverkningstidpunkt. Resultaten visade att tillväxten på ytorna var lika hög eller högre än referenstillväxten i skötta bestånd som avverkats vid rekommenderad avverkningstidpunkt, trots att ytorna passerat den ålder då man rekommenderar att avverka (där medeltillväxten kulminerar), med 50-100 år. En förutsättning för detta var dock att virkesförråden var tillräckligt höga (Stokland 2021). Utifrån resultaten finns en vidare diskussion om huruvida den löpande tillväxten kan vara stabil över längre tid än vad som antas i nuvarande tillväxtmodeller (Brunner 2021, Stokland 2021b).

Permanens och risker

Vilken effekt en förlängning av omloppstider på delar av skogsmarksarealen får på kolsänkan beror framför allt på vilka arealer som omloppstiderna förlängs på och hur åldersfördelningen ser ut. Om en förlängning av omloppstiden på en del av arealen samtidigt leder till att avverkningsåldrarna sänks på resterande areal eller att uttagen i gallring ökar, så kan detta medföra en motsatt effekt på kolförrådet totalt sett. Det finns även en risk att förlängning av omloppstider kan leda till ökad kolsänka under en period, men att kolsänkan därefter minskar igen. Det finns också en risk att avverkningen minskar vilket kan leda till minskad substitution av andra material och bränslen. Längre omloppstider innebär generellt större risker för skadeangrepp.

Additionalitet

Om nya styrmedel införs som innebär en tydlig förlängning av omloppstider, som kan kopplas till dessa styrmedel, så skulle detta kunna betraktas som en additionell åtgärd.

Läckage

Om omloppstiderna förlängs på en viss areal finns en risk att avverkningen i stället ökar på andra arealer.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Det finns en osäkerhet kring effekten av förlängd omloppstid på kolsänkan i skog. Detta behöver analyseras vidare.

3.3.2 Hyggesfritt skogsbruk

Hyggesfritt skogsbruk på skogsmark med produktionsmål innebär enligt Skogsstyrelsens definition att skogen sköts så att marken alltid är trädbevuxen utan att

det uppstår några större kalhuggna ytor. Denna definition innefattar både blädning bruk och andra former av upprepad gallring, samt skärmar som överhålls tills dess att ny skog etablerats. Luckor får tas upp om de inte överstiger 0,25 ha. En skärm får avvecklas i flera steg, och slutlig avveckling kan ske när den nya skogen nått en medelhöjd av minst 10 m (Skogsstyrelsen 2021b).

Jämfört med trakthyggesbruk kan hyggesfritt skogsbruk innebära flera olika skillnader för kolbalansen. Skillnaderna blir tydligast för blädning bruk eller andra former av upprepad gallring.

Hyggesfritt skogsbruk verkar ofta ge något lägre tillväxt vilket ger mindre avverkningsmöjligheter och mindre möjligheter till substitution. Lägre tillväxt ger också mindre möjligheter att bygga upp ett kolförråd i träd, vilket kan ske om tillväxten inte avverkas.

I hyggesfasen sker en nettoavgång av växthusgaser till atmosfären, dvs den avverkade ytan är en källa till växthusgaser och inte en sänka. När vegetation kommer in och ett nytt bestånd etableras, blir ytan på nytt en sänka för växthusgaser. Tiden det tar innan en avverkad yta återgår till att bli en sänka verkar variera mellan ca 5-20 år under svenska förhållanden. Hyggesfria metoder i form av blädning bruk eller upprepad gallring innebär att man återkommer och gör uttag av virke mer regelbundet, med i storleksordningen 25-30 års intervall. Detta ger upphov till en påverkan på växthusgasbalansen som är mindre vid varje tillfälle men som återkommer mer regelbundet.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Det finns ingen skyldighet att anmäla olika former av gallring till Skogsstyrelsen. Vid de mätningar som görs av Riksskogstaxeringen kan det vara svårt att särskilja en blädning från en gallring. Fram tills nu har det saknats en tydlig definition av vad som inkluderas i begreppet hyggesfritt skogsbruk. Detta gör att det saknas tillförlitliga data på omfattningen av hyggesfritt skogsbruk i Sverige.

Målkonflikter och synergier

Hyggesfria metoder kan på flera sätt vara positivt för biologisk mångfald. Bland annat gynnas skuggfördragande arter och arter som är beroende av skoglig kontinuitet. Tall och många lövträd missgynnas dock av blädning bruk eller andra former av upprepad gallring.

Hyggesfritt skogsbruk är positivt för skogens sociala värden eftersom skogskänslan bibehålls.

Hyggesfria metoder är positivt för renskötseln, bland annat eftersom tillgång till häng- och marklavar gynnas.

Hyggesfria metoder dämpar de typiska effekterna på mark och vatten av hyggen, dvs ökad avrinning och uttransport av organiskt material, näringsämnen och tungmetaller från mark till vatten.

Tillväxten och därmed produktionen av virke verkar ofta bli något lägre med hyggesfria metoder. Detta kan ge mindre möjligheter till substitution.

Hinder

Erfarenheten av hyggesfria metoder är förhållandevis begränsad i Sverige. Därmed saknas ofta den praktiska kunskapen. Det är inte alla skogsägare som har intresse av att bruka skogen hyggesfritt.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

De underlag som finns indikerar att hyggesfria metoder ofta leder till en något lägre tillväxt, vilket minskar möjligheterna att öka kolförrådet i träd. I och med att hyggesfritt skogsbruk ofta bedöms leda till något lägre tillväxt, bedöms klimatnyttan och möjligheterna att öka kolsänkan bli något lägre med hyggesfria metoder.

Lundmark m fl (2016) gjorde en modelljämförelse av kolbalanser mellan trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk (blädningsbruk) för ett hypotetiskt skiktat bestånd med granskog i Mellansverige under 3 omloppstider (ca 280 år). I den totala kolbalansen ingick förändring av kolförråd i träd, förna och HWP, samt effekten av substitution. Äldre markkol antogs inte påverkas och samma nedbrytningsfunktioner användes för förna för trakthyggesbruk och hyggesfria metoder. För substitution användes en faktor av 0,9 ton CO₂/m³ (men faktorn varierades också ned till 0,47 ton CO₂/m³).

De genomsnittliga årliga kolbalanserna för trakthyggesbruk (utan skörd av grot) och för hyggesfritt skogsbruk med 100 % respektive 80 % av den tillväxt som trakthyggesbruket hade, var 2,25, 2,06 respektive 1,83 ton kol/ha och år (positiva värden betyder inbindning av kol). Trakthyggesbruket gav alltså störst kolinbindning. Substitutionen var den post som påverkade utfallet mest, oavsett om den sattes till 0,9 eller 0,47 ton CO₂/m³. Huvudslutsatsen var att tillväxten, snarare än valet av skogsskötselsystem, var den mest avgörande faktorn för resultatet (Lundmark m fl 2016).

I SLU 2017 redovisades effekter på kolförråd baserat på tidigare analyser av konsekvenser av att bedriva ett hyggesfritt skogsbruk (Lundström 2008). Som referensscenario användes SKA 03, där 2 % av skogsmarksarealen behandlades med modifierade skötselmetoder, och i stället antogs att ca 6 respektive 12 % brukades hyggesfritt (Lundström 2008). I scenariot där 12 % av arealen brukades med hyggesfria metoder, blev den totala tillväxten i olika landsdelar 1-7 % lägre än i referensscenariot. Detta ledde framför allt till en minskad avverkningsnivå; virkesförrådets utveckling var likartad som i referensscenariot.

I hyggesfasen sker en nettoavgång av växthusgaser från den avverkade ytan. Det samma gäller efter andra typer av störningar där successionen får börja om, tex kraftig skogsbrand eller insektsangrepp, som dödar en stor andel av träden (tex Amiro m fl 2010, Goulden m fl 2011). Nedbrytningen (den heterotrofa respirationen) kan öka något under de första åren efter en störning, och tillförseln av kol från växande träd och vegetation minskar. Detta gör att skogen då blir en källa i stället för en sänka för kol. Det finns idag mycket få publicerade studier i Sverige

som beskriver hur lång tid det tar innan en avverkad yta återgår till att bli en kolsänka. Flera sådana studier ska dock vara nära publicering. En grov bedömning baserad på data från flera forskare från både norra och södra Sverige är att tiden verkar kunna variera mellan ca 5-20 år.

Ett fåtal publicerade rapporter finns av växthusgasbalanser för hyggen i Sverige. Vestin m fl (2020) mätte avgång av växthusgaserna koldioxid, metan och lustgas på två ytor på ett hygge i Mellansverige. Koldioxid var den växthusgas som dominerade, medan metan bidrog till 1,5-3,7 % av avgivningen och lustgas bidrog till 7,3-7,6 %. På denna lokal hade alltså såväl koldioxid, som metan och lustgas betydelse för klimatpåverkan, även om koldioxid dominerade (Vestin m fl 2020).

I dagsläget känner inte vi till några publicerade studier där man mätt hur växthusgasflöden mellan mark och atmosfär påverkas av blädning eller andra hyggesfria skogsbruksåtgärder under svenska förhållanden. Det som finns är ett fåtal studier av effekterna av gallring (tex Lindroth m fl 2018). Utifrån dessa resultat kan påverkan på kolbalansen vid blädning eller andra hyggesfria skogsbruksåtgärder förväntas vara mindre efter varje enskild åtgärd. Åtgärderna utförs dock ofta med tätare intervall. För att uppnå samma leverans av skogsråvara behöver åtgärderna också utföras på en större areal.

Permanens och risker

Hyggesfria metoder kan bidra till att sprida riskerna i skogsbruket.

Additionalitet

Den kunskap vi har idag indikerar att möjligheterna till kolinlagring ofta verkar minska något med hyggesfria metoder, framför allt på grund av att tillväxten minskar. Om kolsänkan minskar finns inte någon möjlighet till additionalitet.

Om arealen som brukas hyggesfritt ökar i framtiden utan att något särskilt styrmedel införts, är det troligen svårt att betrakta detta som additionellt.

Läckage

Hyggesfritt skogsbruk på en viss areal innebär fortfarande ett brukande av den arealen men med andra metoder. Tillväxten och därmed avverkningsmöjligheterna kan ofta förväntas bli något lägre. Detta skulle kunna leda till ökad avverkning någon annanstans i stället.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Grundkunskapen om olika hyggesfria metoder finns men den praktiska erfarenheten saknas på många håll. Det finns få studier av hur kolbalansen för mark och träd påverkas av hyggesfria metoder. Kunskapen om detta behöver förbättras. Det behövs även mer kunskap om betydelsen av hyggesupptagning för kolbalansen.

3.3.3 Avsättning av skog för naturvårdsändamål

Avsättning av skog innebär att en viss andel av skogsmarken inte används för virkesproduktion. Beroende på vilken typ av skog som avsätts kan kolförrådet på den marken efter avsättning utvecklas olika, men en viss ökning av förrådet kan ofta

förväntas under en viss tidsperiod. Om de skogar som avsätts redan har stora kol-förråd, kan dock potentialen för att ytterligare öka förrådet, i regel förväntas vara mindre.

En förutsättning för att ökade avsättningar ska leda till ökad kolinlagring är också att den totala avverkningen minskar. Detta kan ge mindre möjligheter till substitution. Om skogsråvaran i stället hämtas någon annanstans (läckage) minskar effekten av den ökade kolinlagringen eftersom kolbalansen påverkas där avverkningen sker i stället.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Idag är ca 1,3 miljoner ha produktiv skogsmark formellt skyddad. Detta motsvarar nästan 6 % av arealen produktiv skogsmark. Utanför den fjällnära regionen är ca 750 000 ha produktiv skogsmark formellt skyddad, vilket motsvarar 3 % av arealen produktiv skogsmark utanför den fjällnära regionen. Frivilliga avsättningar omfattar drygt 1,3 miljoner ha, vilket motsvarar nästan 6 procent av arealen produktiv skogsmark (www.scb.se, 2022-01-27).

Målkonflikter och synergier

Avsättning av arealer med höga befintliga naturvärden eller med potential att utveckla sådana värden bedöms vara positivt för biologisk mångfald.

Avsättningar kan vara positivt för skogens sociala värden.

Avsättningar kan ofta vara positivt för renskötseln. Bland annat gynnas tillgång till mark- och hänglavar.

Avsättning leder till minskad möjlighet till avverkning vilket kan minska möjligheterna till substitution.

Hinder

Avsättning genom formellt skydd kräver att ersättning betalas ut till markägaren. Åtgärden är alltså beroende av politiska beslut om anslag till formellt skydd av skog.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

I SLU 2017 ingick scenariot Dubbla naturvårdsarealer, från SKA 15. Detta ledde till en högre inlagring i levande biomassa på ca 10-20 miljoner ton CO₂/år under de första 50 åren av analysen, men därefter en minskande inlagring och från år 70-100 i stort sett ingen skillnad jämfört med referensscenariot. Orsaken var att tillväxten på den avsatta arealen minskade med tiden. Avverkningen var ca 15-20 miljoner m³sk/år lägre jämfört med referensscenariot, under hela perioden.

I SLU 2019 ingick scenariot Ökade avsättningar. Jämfört med referensscenariot innebar detta att produktiv skogsmark undantagen från virkesproduktion ökat med ca 4,5 miljoner ha. Totalt hade då ca 8 miljoner ha, eller 35 %, av den produktiva

skogsmarksarealen, undantagits från virkesproduktion. Den mark som avsatts hade valts baserat på mätta variabler, så att den var lämplig för naturvård.

För perioden 2021-2025 gav scenariot Ökade avsättningar ett ökat upptag på ca 22 miljoner ton CO₂/år i levande biomassa. Lägre avverkning medförde dock minskad inlagring i skogsprodukter. För perioden gav scenariot ett ökat upptag i levande biomassa, markkol, död ved och skogsprodukter motsvarande 13,6 miljoner ton CO₂e/år. Den lägre avverkningen medförde en minskad substitution på 16,4 miljoner ton CO₂/år, vilket innebär att den totala klimatnyttan bedömdes vara 2,8 miljoner ton CO₂e/år lägre än för referensscenariot, för 2021-2025. Man beräknade substitution med en faktor av 1 ton CO₂/m³sk.

Under större delen av analysperioden var det därefter små skillnader i klimatnytta mellan scenariot Ökade avsättningar och referensscenariot. För perioden 2101-2105, dvs i slutet av den analyserade tidsperioden, hade dock scenariot Ökade avsättningar en klimatnytta som var ca 20 miljoner ton CO₂e/år lägre än referensscenariot, eftersom tillväxten då börjat minska.

För att illustrera effekten av avsättningar på uppbyggnaden av kolförråd under längre tid förlängdes även analysperioden till 200 år. Analyserna visade att det tog lång tid innan ökningen i virkesförråd började avta (jmf Stokland 2021). Efter ca 180 år började en kulmination nås och då var det totala virkesförrådet på skogsmarken mer än dubbelt så högt som idag.

Petersson m fl 2022 inkluderade också ett scenario med ökade avsättningar för naturvård. Här antogs att ytterligare 3,7 miljoner ha avsattes jämfört med referensscenariot, vilket innebär att totalt 11 M ha var avsatt. I övrigt vara alla parametrar desamma som i referensscenariot. Jämfört med referensscenariot resulterade detta efter 200 år i ett ökat kollager i levande biomassa, förna, och död ved motsvarande ca 2,3 miljoner ton CO₂/år. Samtidigt minskade avverkningsmöjligheterna och substitutionen och lagren i skogsprodukter blev därmed lägre, motsvarande ca 16 miljoner ton CO₂/år. Man beräknade substitution med en faktor av 1 ton CO₂/m³sk.

Permanens och risker

Skog som är formellt avsatt kan precis som annan skog drabbas av skador. Om avsättning görs kan de skogar som avsatts förväntas lagra in mer kol under en period (ca 50-200 år beroende på vilka skogar som avsätts). Därefter förväntas inlagringen sjunka och man får ett mer eller mindre permanent stående förråd i träden.

Additionalitet

Om anslagen till formellt skydd höjs så bör detta kunna betraktas som en additionell åtgärd, eftersom det formella skyddet är ett resultat av anslagen.

Läckage

Avsättning innebär bortfall av virkesproduktion och minskad avverkningsmöjlighet. Detta bör kunna leda till risk för ökad avverkning någon annanstans (tex Boström m fl 2021).

Kunskapsluckor och osäkerheter

Det bedöms som relativt säkert att ökade avsättningar bör leda till ökad inlagring av kol under en tidsperiod (olika hur mycket och hur länge beroende på vilka skogar som avsätts). Däremot finns en osäkerhet kring risken för läckage och permans i kollagret över tid.

3.4 Minskad avverkningsnivå i produktionsskog

Om avverkningen minskar ökar kollagret i träd, förutsatt att man inte får ökade skadeangrepp. Om den areal som inte avverkas är produktionsskog med en hög tillväxt ger detta en hög potential för inlagring av kol. Minskad avverkning kan ge mindre möjligheter till substitution.

Förutsättningen för att minskad avverkning ska leda till ökad kolinlagring totalt sett är att marknadens behov inte gör att skogsråvaran tas någon annanstans. Om skogsråvaran hämtas någon annanstans minskar effekten av den ökade kolinlagringen eftersom kolbalansen påverkas negativt där avverkningen sker istället.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Sedan 1950-talet har avverkningen i Sverige stadigt stigit från ca 50 miljoner m³sk/år, till drygt 90 miljoner m³sk/år under de senaste åren (Sveriges officiella statistik). Samtidigt har kolförrådet i träd stadigt ökat, eftersom man inte avverkat hela tillväxten. Åtgärden skulle potentiellt kunna verka på hela den produktiva skogsmarksarealen (utanför formellt skyddade områden, frivilliga avsättningar och hänsynsytor) men minskar man avverkningsnivån minskar man också tillgången på virke och virket måste då tas någon annanstans ifrån om inte efterfrågan på skogsråvara minskar.

Målkonflikter och synergier

Minskad avverkning kan ge mindre möjligheter till substitution.

Minskad avverkning påverkar skogsindustrins möjligheter att få tag i råvara och kan därmed också påverka samhällsekonomin.

Minskad avverkning bör vara positivt för biologisk mångfald eftersom detta leder till högre produktion av död ved (självgallring), mindre kanteffekter mot känsliga skogsekosystem (på grund av färre hyggen), samt längre omloppstider, vilket innebär grövre träd och mer tid för arter att kolonisera bestånden.

Minskad avverkning kan leda till positiva effekter för renskötseln, men effekten är beroende av vilka skogar som inte avverkas.

Minskad avverkning kan leda till positiva effekter för skogens sociala värden, men effekten är beroende av vilka skogar som inte avverkas.

Hinder

Skogsägaren har med dagens skogspolitik rådighet över beslut om avverkning. Samhället har inga skarpa instrument för att styra avverkningen.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

I SLU 2017 ingick ett scenario från SKA 15, med 90 % avverkning (I referensscenario avverkades 100 % av nettotillväxten.). Detta ledde till en ökning av kolsänkan i levande biomassa, motsvarande 12 miljoner ton CO₂/år på 50 års sikt och 15 miljoner ton CO₂/år på 100 års sikt. Avverkningen var i detta scenario ca 7 miljoner m³sk/år lägre på både 50 och 100 år sikt.

I SLU 2019 ingick samma scenario (Lägre efterfrågan), med avverkning av 90 % av nettotillväxten. Scenariot gav för perioden 2021-2025 ett ökat upptag i levande biomassa, markkol, död ved och skogsprodukter motsvarande ca 10 miljoner ton CO₂e/år. Den lägre avverkningen medförde en minskning av substitutionen motsvarande 8 miljoner ton CO₂/år, vilket innebar att den totala klimatnyttan bedömdes vara 2,5 miljoner ton CO₂e/år högre jämfört med referensscenario, för 2021-2025. Man beräknade substitution med en faktor av 1 ton CO₂/m³sk. I ett längre tidsperspektiv (upp till 100 år) medförde scenariot också en klimatnytta jämfört med referensscenario, av i storleksordningen 1-8 miljoner ton CO₂/år.

Skytt m fl (2021) analyserade effekten av att variera avverkningsnivån mellan 95 %, 80 % (referensscenario) 60, 40 respektive 0 % av tillväxten, för 5 län (Norrbotten, Jämtland, Gävleborg, Västra Götaland och Skåne). Man inkluderade kolförråd i träd och död ved, markkol, kolförråd i produkter, samt substitution. För att simulera skogstillväxt användes Heureka (dvs samma verktyg som i SLU 2017 och 2019). Man använde dock inte de inbyggda modellerna för framtida tillväxtökning pga förändrat klimat. För att skatta substitution delades de avverkade volymerna upp i massa/papper, sågade trävaror och energisortiment. För dessa användes substitutionsfaktorer på 0,9, 1,4 respektive 0,4 ton kol/ton kol bundet i trä (0,7, 1,0 och 0,3 ton CO₂/m³sk). Man tog även hänsyn till om ett minskat utbud av biomassa kunde förväntas leda till ökad användning av fossilbaserad råvara, för olika sortiment.

Resultaten illustrerar att den totala kolbalansen är beroende av tillväxt, substitutionsfaktorer och tidsperspektiv. För Skåne, med hög skogstillväxt, och om substitutionsfaktorerna sattes högt, gav scenariot där avverkningen sattes till 0 % av tillväxten en klimatnytta jämfört med avverkning av 95 eller 60 % av tillväxten, i upp till 50 år. Efter längre tid än 50 år var klimatnyttan större för scenarierna med avverkning av 60 eller 95 % av tillväxten. För Skåne och om substitutionsfaktorerna sattes lågt, samt för Norrbotten (med lägre skogstillväxt) oavsett vilka substitutionsfaktorer som användes, gav scenariot där avverkningen sattes till 0 % av tillväxten en klimatnytta jämfört med avverkning av 95 eller 60 % av tillväxten, i 75-100 år. Efter längre tid än 75-100 år var klimatnyttan större för scenarierna med avverkning av 60 eller 95 % av tillväxten. En huvudslutsats var att det med ett kortare tidsperspektiv (i vissa fall mindre än 50 år, i andra fall mindre än 100 år) är fördelaktigt med lägre avverkningsnivåer. I längre tidsperspektiv (i vissa fall längre än 50 år, i andra fall längre än 100 år) och med högre värden på substitutionsfaktorer och tillväxt, är det mer fördelaktigt med högre avverkningsnivåer (Skytt m fl 2021).

Det finns en pågående diskussion med utgångspunkt i resultaten från Skytt m fl (2021), men som också är mer generell. Diskussionen handlar bland annat om

vilka antaganden om substitutionsfaktorer som bör göras för framtiden och hur man ska se på riskerna för skogsskador om man investerar i ett stort stående kolförråd i träd, särskilt med tanke på klimatförändringen (Gustavsson m fl 2022, Skytt m fl 2022).

Det bör noteras att varken SLU 2017 och 2019, eller Skytt m fl 2021 diskuterar risker för läckageeffekter. SLU 2019 är begränsad till Sverige, medan Skytt m fl är begränsad till länsvisa analyser. Frågan om läckage kopplar till vilka antaganden om framtida efterfrågan som görs; om man bedömer att efterfrågan på skogsråvara kommer att vara oförändrad, öka eller minska. Detta kopplar i sin tur till frågor om vilken utveckling man bedömer kommer att ske vad gäller andra material och bränslen.

Permanens och risker

Minskad avverkning innebär ökad uppbyggnad av kolförråd i träd över tid. Med ett stort stående kolförråd ökar sannolikheten för, och konsekvenserna av, skador på skogen.

Additionalitet

För att åtgärden ska kunna betraktas som additionell behöver den gå att koppla på ett tydligt sätt till införda styrmedel.

Läckage

Minskad avverkning bör kunna leda till högre priser på virke och därmed risk för ökad avverkning någon annanstans (tex Boström m fl 2021). Även vid en bibehållen efterfrågan och brist på virke finns risk för att avverkning sker någon annanstans. Det finns också en risk för ökad användning av fossila material och bränslen, om efterfrågan är konstant men avverkningen minskar.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Om avverkningsnivån minskar i produktionsskog bedöms det som säkert att detta kommer att leda till ökad inlagring av kol under en tidsperiod. Det finns däremot osäkerhet kring permanens och risker för läckage.

3.5 Ökad lövinblandning

Ökad lövinblandning innebär ofta lägre tillväxt och lägre avverkning. Detta kan leda till högre kolförråd men samtidigt minskad möjlighet till substitution. En högre inblandning av löv kan öka motståndskraften mot störningar (tex bränder).

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

I scenariot Ökad löv och blandskog (SLU 2017) åstadkoms en ökad andel lövträd genom en ökad naturlig föryngring och att löv gynnas vid röjning och gallring. Naturlig föryngring har minskat påtagligt från ca 36 % av den avverkade arealen år 2000-2002 till ca 9 % av den avverkade arealen 2018/19-2020/21 (Sveriges officiella statistik).

Åtgärder för ökad lövinblandning kan potentiellt genomföras på hela arealen produktiv skogsmark (utanför formellt skyddade områden, frivilliga avsättningar och hänsynsytor). Minskar man avverkningsnivån minskar man också tillgången på virke och virket måste då tas någon annanstans ifrån om inte skogsindustrin i Sverige ska minska i omfattning.

Målkonflikter och synergier

Ökad lövinblandning är ofta positivt för biologisk mångfald.

Ökad lövinblandning är ofta positivt för skogens sociala värden.

Ökad lövinblandning kan bidra till variation och riskspridning.

Ökad lövinblandning leder till minskad avverkning vilket kan ge mindre möjligheter till substitution.

Hinder

Enligt rådande skogspolitik har skogsägare stor frihet i att utforma skogsskötseln. Det är inte alla skogsägare som vill sköta skogen för ökad lövinblandning.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

I SLU 2017 ingick scenariot Ökad löv och blandskog, som byggde på scenarier från SKA 15. Jämfört med scenariot Dagens skogsbruk innebar detta att skogsskötseln förändrades på blöt, fuktig och frisk-fuktig mark (23 % av all produktiv skogsmark), så att den i högre grad gynnade lövträd.

Den förändrade skötseln ledde till att andelen löv- och blandskog ökade från 15 till 24 % av arealen produktiv skogsmark under de 100 år som analysen gjordes. I scenariot Dagens skogsbruk ökade andelen löv- och blandskog under perioden från 15 till 19 % av arealen produktiv skogsmark. Den ökade andelen lövträd ledde till att avverkningen minskade med 3-4 miljoner m³sk/år jämfört med scenariot Dagens skogsbruk. Inlagringen av kol i levande biomassa ökade däremot med 4-6 miljoner ton CO₂/år.

Permanens och risker

Ökad lövinblandning kan bidra till att sprida riskerna i skogsbruket.

Additionalitet

För att åtgärden ska kunna betraktas som additionell behöver den gå att koppla på ett tydligt sätt till införda styrmedel.

Läckage

Om ökad lövinblandning leder till minskad avverkning bör detta kunna leda till risk för ökad avverkning någon annanstans (tex Boström m fl 2021).

Kunskapsluckor och osäkerheter

Kunskapen om vilka åtgärder som kan genomföras för ökad lövinblandning är relativt goda. Det finns däremot osäkerhet kring riskerna för läckage om avverkningen minskar till följd av en ökad inblandning av löv.

3.6 Åtgärder som kan påverka kolförrådet i mark

Skogsbruksåtgärder påverkar uttransporten av organiskt kol från mark till vattendrag, där det organiska kolet sedan kan oxideras till koldioxid. Skogsbruksåtgärder påverkar också nedbrytningen av organiskt material i marken. (Återvätning av dikad torvmark påverkar också kolförrådet i mark, men detta tar vi upp som en separat åtgärd.)

3.6.1 Minskad uttransport av löst organiskt kol från avverkningar

Avverkning leder till ökad uttransport av löst organiskt kol (dissolved organic carbon, DOC) från mark till vattendrag. I vattendrag kan en stor andel av det lösta organiska kolet oxideras till koldioxid. Åtgärder som minskar uttransport av löst organiskt kol i samband med avverkning skulle därför kunna minska avgång av koldioxid till atmosfären.

Åtgärder som kan minska effekten är till exempel att lämna kvar en högskärm med träd som dämpar höjningen av grundvattenytan efter avverkning, att hålla nere storleken på hyggen för att få en mindre kraftig ökning av avrinningen, samt att lämna bredare kantzoner längs vattendrag, där organiskt material kan fångas upp. Vår bedömning är att effekten av olika former av anpassningar på uttransport av löst organiskt kol är osäker med det kunskapsläge vi har idag. Det är också osäkert hur stor andel av kolet som oxideras i vattendrag. Mer kunskap behövs därför innan någon kvantifiering av effekten kan göras.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Efter en avverkning av ca 60-70 % av ett avrinningsområde ökar typiskt uttransporten av löst organiskt kol med ca 50-80 % jämfört med situationen före avverkning (tex Schelker m fl 2012). Orsaken är främst att avrinningen ökar efter avverkning och att grundvattenytan stiger.

Åtgärderna kan potentiellt genomföras på hela arealen med produktiv skogsmark (utanför formellt skyddade områden, frivilliga avsättningar och hänsynsytor), på sådana ståndorter där de är lämpliga. Att lämna högskärmar måste exempelvis planeras noga för att undvika att många skärpträd blåser ned.

Målkonflikter och synergier

Bredare kantzoner innebär ökad hänsyn vilket bör vara positivt för biologisk mångfald, framför allt för de typer av hänsynskrävande biotoper som förekommer längs vattendrag.

Minskad uttransport av organiskt material bör leda till förbättrad vattenkvalitet (mindre brunifiering, mindre belastning av näringsämnen och tungmetaller etc).

Hinder

Möjligheten för Skogsstyrelsen att med lagtillsyn styra mot att bredare kantzoner lämnas, är sannolikt begränsad av intrångsbegränsningen. När det gäller hyggesstorlekar kan det finnas en viss möjlighet att styra detta med föreskrifter till skogsvårdslagen, men det är idag mycket juridiskt oprövat. När det gäller användning av högskärmar så är det skogsägaren som har rådighet över detta.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Vår bedömning är att mer kunskap behövs för att den möjliga effekten av olika åtgärder för att minska uttransport av löst organiskt kol till vattendrag i samband med skogsbruksåtgärder, ska kunna kvantifieras. Det finns en osäkerhet både när det gäller effekten av olika åtgärder för att minska uttransporten, och när det gäller hur stor andel av det organiska kolet som oxideras till koldioxid i vattendrag.

Det kan ändå vara meningsfullt att göra en mycket grov skattning av den maximala teoretiska effekten, eftersom detta sätter taket för vad som teoretiskt skulle kunna vara möjligt att uppnå. Uttransporten av löst organiskt material ökar ofta med i storleksordningen 150 kg DOC/ha, år efter en avverkning och denna effekt kan hålla i sig mellan 5 och 10 år efter avverkningen. I storleksordningen 200 000 ha/år förnygringsavverkas i Sverige. FN:s klimatpanel IPCC räknar med att 90 % av det lösta organiska kol som transporteras från torvmarker till vattendrag oxideras till koldioxid, antingen inom avrinningsområdet eller när det senare når havet (IPCC 2013, Algesten m fl 2003, Bianchi 2011). Baserat på detta skulle ett enkelt grovt antagande kunna vara att 100 % av det DOC som transporteras ut från hyggen oxideras till koldioxid. Den totala maximala teoretiska effekten skulle därmed kunna vara ca 500 000 -1 miljon ton CO₂/år, dvs effekten skulle inte kunna vara större än så. Däremot är det naturligtvis endast en mindre del av denna maximala teoretiska effekt som skulle kunna vara möjlig att uppnå med olika åtgärder. Att göra en kvantifiering av åtgärdernas effekt har dock inte bedömts vara möjligt med det underlag som finns idag.

Permanens och risker

Att lämna bredare kantzoner och hålla nere hyggesstorlekar bedöms inte medföra några särskilda risker. För högskrävar finns en risk för vindfällning. En variation i brukandet kan bidra till riskspridning i skogsbruket, vilket är positivt.

Additionalitet

För att åtgärderna ska kunna betraktas som additionella behöver de kunna kopplas till specifika styrmedel.

Läckage

Åtgärder för att minska transport av löst organiskt kol till vattendrag i samband med avverkning bedöms inte leda till läckageeffekter. Om väsentligt bredare kantzoner lämnades runt alla små vattendrag skulle detta innebära att mängden virke som undantas från skörd skulle bli betydligt större än idag. Då finns en risk för att avverkningen i stället ökar någon annanstans. I Sverige strävar vi efter att lämna kantzoner där bredden varierar längs vattendragen för att uppnå den funktionalitet som krävs för vattnen, exempelvis med bredare kantzoner där det finns utströmningsområden och hänsynskrävande biotoper.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Mer kunskap behövs om hur stora effekter som kan uppnås med olika åtgärder för att minska transport av löst organiskt kol från mark till vattendrag i samband med avverkning. Med dagens kunskapsläge bedömer vi det inte som möjligt att göra någon kvantifiering av hur stor effekten skulle kunna vara.

3.6.2 Mer skonsam markberedning och mindre körskador

Markberedning och körskador kan leda till en omblandning av humus och mineraljord. Detta kan leda till ökad nedbrytning och avgång av koldioxid från marken. Genom att minska markpåverkan skulle den effekten kunna minska. På många marker är markberedning samtidigt viktigt för förnyringen. Med ”skonsam markberedning” avses därför metoder som leder till goda förnyingsresultat men med mindre markpåverkan.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Åtgärderna kan potentiellt genomföras på hela arealen med produktiv skogsmark (utanför formellt skyddade områden, frivilliga avsättningar och hänsynsytor).

Målkonflikter och synergier

Mindre körskador och mer skonsam markberedning kan minska utlakning av slam och näringsämnen till vattendrag vid skogsbruksåtgärder. Detta är positivt för biologisk mångfald i vatten.

Mindre körskador och mer skonsam markberedning bör minska utlakning av kvicksilver och metylkviksilver till vattendrag i samband med skogsbruksåtgärder.

Mindre körskador och mer skonsam markberedning är positivt för skogens sociala värden, eftersom de flesta former av markpåverkan upplevs som negativ av skogsbesökare.

Mindre körskador och mer skonsam markberedning bör vara positivt för kärllväxter (tex på marker med hävdgynnad flora) och marklevande däggdjur (tex gråsidning, som är beroende av naturliga håligheter).

Mindre körskador och mer skonsam markberedning är positivt för renskötseln, dels när det gäller förekomst av marklavar, dels för flyttning av renar.

Hinder

Det finns inga direkta hinder för åtgärden. Skogsbruket arbetar redan idag med att förebygga körskador. Utveckling av mer skonsam markberedning sker i viss utsträckning men genomslaget för nya metoder har varit relativt begränsat.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Effekter av markberedning på markens kolförråd har studerats med olika metoder. Dels finns studier baserade på mätningar av totalt förråd av kol i mark (ned till ett visst djup). Dessa är oftast från ståndorter med sediment på sandig mark. Dels finns försök med förnapåsar (litterbags), där man jämfört nedbrytningshastigheten för förnapåsar som ”begravs” i marken, jämfört med förnapåsar som placeras mer ytligt. Dessutom finns studier där man mätt flöden av växthusgaser från marken.

Mätning av totalt förråd av kol i marken kan vara en robust metod, om man når till ett tillräckligt stort djup i marken för att kunna mäta de förändringar som sker.

Studierna kan göras lång tid efter markberedning vilket gör att de även kan fånga upp långtidseffekter. Försök med förnapåsar kan ge viktig grundläggande kunskap om nedbrytning av olika typer av förna. Mätningar av flödet av koldioxid med klimatkammare kan fånga upp variationer de närmaste åren efter markberedning, och kan därmed vara en metod för att förstå effekterna på kortare sikt.

I flera tidigare sammanställningar har man dragit slutsatsen att markberedning ökar nedbrytningen och därmed avgången av koldioxid från marken (tex Jandl m fl 2007). Slutsatsen är framför allt baserad på försök med förnapåsar med barrförna (tex Lundmark-Thelin och Johansson 1997).

Att markberedning kan leda till förluster av organiskt material från marken stöds av resultat från försök där man mätt effekten på kolförrådet i marken. I 3 försök i norra Sverige med tall på sandig sedimentmark var totalmängder av kol ned till 100 cm djup i marken 6-41 % lägre på markberedda ytor än på kontroller 24-71 år efter behandling. De markberedningsmetoder som använts (inversion med spade, harvning och hyggesplöjning) innebar en omblandning av humus och mineraljord och att nära 100 % av markytan påverkades (Örlander m fl 1996).

Kolförråd i mark, vegetation och träd mättes även på 3 försöksytor med planterade barrträd på sandig mark, 10 år efter djup inversmarkberedning (ned till ca 50 cm djup), eller fläckmarkberedning. Förrådet av kol var signifikant högre efter fläckmarkberedning i humuslagret och i lagret 0-15 cm överst i mineraljorden. För lagren 30-50 cm och 50-70 cm i mineraljorden var däremot kolförrådet högre efter djup inversmarkberedning. För det totala kolförrådet i träd, vegetation och mark fanns inga signifikanta skillnader mellan metoderna (Nordborg m fl 2006).

I 3 försök i södra och mellersta Sverige med planterade barrträd på i huvudsak sandig mark (morän och sediment), mättes också kolförråd i mark, vegetation och träd. Markberedning (högläggning, harvning, plöjning, samt omarkberedd kontrolltyta) hade gjorts 25 år före mätning. Man fann inga signifikanta skillnader i kolförråd ned till 30 cm i marken mellan de olika metoderna. Det totala kolförrådet i träd, vegetation och mark var högst efter plöjning, intermediärt efter högläggning och harvning, och lägst på kontrolltytan (Mjöfors m fl 2017).

På en försöksyta med sandig sedimentmark i Mellansverige mättes flödet av koldioxid med klimatkammare och nedbrytning av barr- och rotförna med förnapåsar, efter markberedning genom simulerad högläggning och fläckmarkberedning. Flödet av koldioxid från marken var oförändrat eller något lägre under 2 år efter markberedning, medan nedbrytningen av förna gick snabbare för förna som var ”begravd”, jämfört med förna som placerats på markytan. Resultaten indikerar att markberedningen kan öka nedbrytningen av förna, men att denna effekt inte verkar slå igenom i flödet av koldioxid från marken (Mjöfors m fl 2015).

I en annan korttidsstudie mättes flödet av koldioxid med klimatkammare på 14 hyggen under 2 år efter avverkning och markberedning. Resultaten visade på lägre flöde av koldioxid från marken första året på ytor med fläckmarkberedning (eller stubbskörd), jämfört med kontrolltytor, medan ytor som harvats inte skilde sig från kontrolltytorna. Andra året skilde sig inte någon av behandlingarna från kontrolltytorna (Strömberg m fl 2016).

Sammantaget finns studier som indikerar att markberedning i vissa fall kan ge en ökad nedbrytning av organiskt material som kan detekteras både på kort och på längre sikt, samtidigt som det finns studier som indikerar motsatsen: lägre respiration efter markberedning och större totalt kolförråd efter ett antal år på ytor som markberetts. Vår bedömning är därför att det inte går att slå fast generellt att markberedning leder till förluster av kol från marken. Effekterna varierar sannolikt mellan olika ståndorter, på grund av förutsättningarna (temperatur, fuktighet, näringsstillgång etc) för nedbrytning, och beroende på markberedningsmetod. Det samma bör gälla även för körskador.

Permanens och risker

Det finns inga direkta risker med att minska körskador och att markbereda mer skonsamt. Om markberedningen är helt otillräcklig kan detta dock medföra sämre föryngringar, men att utveckla effektiva, mer skonsamma metoder för markberedning bör inte medföra några risker.

Additionalitet

För att åtgärderna ska kunna betraktas som additionella behöver de kunna kopplas till specifika styrmedel.

Läckage

Åtgärderna bedöms inte leda till läckageeffekter.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Det bedöms som relativt säkert att markberedning i vissa fall kan leda till en viss ökad nedbrytning av organiskt material. Eftersom det också finns studier som visar på motsatsen behövs mer kunskap om variationen mellan olika ståndorter. Kunskapsläget idag bedöms som för osäkert för att göra någon kvantifiering av hur stor potential som kan finnas i åtgärden.

3.7 Åtgärder för ökad beskogning och minskad avskogning

3.7.1 Beskogning av nedlagd jordbruksmark

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Enligt det scenario som användes i Jordbruksverkets Rapport 2012 "Ett klimatvänligt jordbruk 2050" skulle rationaliseringar kunna leda till att samma mängd jordbruksprodukter produceras på 25% mindre åkerareal. Närmare 600 000 ha åker skulle enligt dessa beräkningar frigöras för annan användning inklusive beskogning (Jordbruksverket 2012).

Konkurrenskraftsutredningen (SOU 2015) väger in fler faktorer¹ och förutser att arealbehovet för jordbruksproduktion ökar med 20–30 % eller 200–300 000 ha till

¹ Bl.a. Konsumtionsmönster, befolkningsökning, rationalisering

år 2030. Antagandet bygger på en uttalad strategi att den inhemska jordbruksproduktionen skall öka väsentligt till 2030. I samma utredning konstateras att ca 250 000 ha i extensiv vallodling eller träda har tillkommit sedan 1990 och att ytterligare ca 250 000 ha sedan tidigare tagits ur jordbruksproduktion. Med dessa förutsättningar återstår alltså 200–300 000 ha tidigare jordbruksmark som eventuellt kan beskogas. Utöver arealen tidigare åker finns betesmark som bara delvis nyttjas för jordbruksproduktion.

2017 antog Sveriges riksdag målen i livsmedelsstrategin. I denna sägs att *”Det övergripande målet för livsmedelsstrategin ska vara en konkurrenskraftig livsmedelskedja där den totala livsmedelsproduktionen ökar, samtidigt som relevanta nationella miljömål nås, i syfte att skapa tillväxt och sysselsättning och bidra till hållbar utveckling i hela landet.”*

En pågående utredning vid Jordbruksverket gör fördjupade analyser rörande nationell självförsörjningsgrad av livsmedel och framtida beredskapsbehov. Även om Konkurrenskraftsutredningen (SOU 2015) indikerar att jordbruksmark kan komma frigöras till annat än livsmedelsproduktion bedömer vi att de arealer som i dagsläget brukas och är stödberättigade måste kvarstå för att uppnå livsmedelsstrategins mål. Samtidigt innebär det faktum att jordbruksarealen inte expanderade under torråret 2018 att produktionshöjning är möjlig inom befintliga stödberättigade arealer.

I en publicerad utredning av vilken effekt ökade insatser för beskogning av tidigare jordbruksmark skulle kunna ge, bedömdes en rimlig beskogningstakt med hänsyn till andra samhällsintressen vara 10 000 ha per år under en 20-årsperiod (total 200 000 ha, Lundblad m fl 2021).

Gemensamt för flertalet skattningar av potentiellt tillgänglig areal är att de utgår från stickprov och regional eller nationell uppskalning. Lägesbunden information och uppgifter om rådande lokala produktionsförutsättningarna saknas.

Delar av arealen övergiven jordbruksmark har blivit trädbärande genom naturlig föryngring från omgivande skog. Sådan mark kommer att lyda under Skogsvårdslagen och skall, såvitt den inte används för jordbruksproduktion, skötas *”...så att den uthålligt ger en god avkastning samtidigt som den biologiska mångfalden behålls. Vid skötseln ska hänsyn tas även till andra allmänna intressen”* (1§ Skogsvårdslagen). Om tillväxten eller virkesförrådet inte utnyttjar markens produktionsförmåga tillräckligt väl och omständigheter som medger undantag saknas är markägaren skyldig att vidta aktiva föryngringsåtgärder.

Målkonflikter och synergier

Aktiv beskogning kan på sikt ge tillskott av såväl kolbindning som vedbiomassa för nya energiändamål och råvara för förädling. Beroende på val av beskogningsobjekt, trädslagsval och vilka skötselplaner som tillämpas finns också vissa förutsättningar att förstärka natur- och kulturmiljövärden, åtminstone på tidigare åkermark. Simuleringar av årlig kolbindning efter beskogning av jordbruksmark visar att marken inledningsvis avger CO₂ och att positiv nettoeffekt av trädens upptag kan dröja upp till ett par decennier (Lundblad m fl 2021).

Täta snabbväxande trädodlingar är effektiva ur kolbindningssynpunkt men innebär påtaglig förändring av landskapsbilden. Särskilt negativt upplevs rena granplanteringar. Gran på tidigare jordbruksmark är beprövat i stora delar av landet och relativt lätt att etablera. Till skillnad från flertalet övriga trädslag behöver gran exempelvis inte hägnas mot vilt. Samtidigt bör riskmedvetenheten öka då massföroknig och angrepp av granbarkborre i samband med stormfällningar och torka gör granmonokulturer skadekänsliga. Snabbväxande lövträd som hybridasp, poppel och al är gynnsammare för landskapsbilden och på rätt mark kan de leverera hög biomassaproduktion tidigt. På bördig mark kulminerar medeltillväxten för dessa trädslag runt 30-årsåldern. Där uthållig tillväxt och längre omloppstider eftersträvas kan andra trädslag vara att föredra.

En del av den extensivt använda eller oregistrerade jordbruksmarken används periodvis för bete eller slåtter. Sådan ”konverteringsmark” skulle kunna beskogas med lägre stamantal än de som tillämpas i konventionellt skogsbruk och därmed leverera flera olika nyttor på samma areal (bete, foder, virke, kol-bindning, skönhetsvärden, biodiversitet). Naturtypsklassad mark med höga naturvärden fordrar särskild hantering med sikte på att förstärka konnektivitet i landskapsskala och återställa ekologiska funktioner som riskerar att gå förlorade genom igenväxning.

Hinder

Börjesson (2021, 2016) bedömde att markägare har avvaktande inställning till att odla energigrödor eller träd på överskottsmark av vall. Vidare krävs en viss andel vallareal för att bedriva företagsekonomiskt lönsamma former av naturbete (Kumm 2021). Oklar lönsamhet och långa investeringstider vid beskogning samt ovilja att överge jordbruksmark som skapats av föregående generationers hårda arbete spelar förmodligen också in. Osäkerhet om EU:s stödsystem och den nationella strategin för självförsörjningsgrad av livsmedel gör markägare motiverade att behålla en buffert av extensivt nyttjad jordbruksmark. Omställning till mer trädodling på tidigare jordbruksmark kompliceras dessutom av att betydande arealer som brukas arrenderas från andra markägare. Andelen arrenderad åkermark har ökat sedan 1950-talet och uppgick 2020 till 42% eller drygt 1 miljon hektar (Jordbruksverket 2022).

Om efterfrågan och priset på vedbiomassa för nya energiändamål ökar kan utvecklade skördeteknik (Grönlund 2018, www.smallwood.eu) innebära större intresse för beskogning av tidigare åkermark. Slyskörd² i kantzoner mm förekommer men sällan med det uttalade syftet att tillvarata markens kolbindningspotential.

De största problemen vid plantering av tidigare jordbruksmark orsakas av konkurrens från gräsvegetation, frost och viltskador. Plantor som är känsliga för vegetationskonkurrens kräver i regel ogräsfri jord för att klara sig utan dyrbar och upprepade ogräsbekämpning. Stora plantor är mer konkurrenståliga men dyra och omständliga att plantera.

² Skörd av klena träd i åkerkanter, igenväxande odlings- och betesmarker, naturreservat, ledningsgator, kantzoner mot vägar och järnvägar

Brist på förädlat och lokalanpassat odlingsmaterial begränsar nyttjandet av de snabbväxande lövträdlagens fulla produktionspotential.

Krav på snabb etablering, hög biomassaproduktion, kostnadseffektivitet och additjonalitet kan motivera att ytterligare delar av den övergivna jordbruksarealen väljs bort. När tuvigt gräs och buskar börjat ta över krävs större insatser för lyckad beskogning. På övergiven jordbruksmark som börjat beskogas spontant blir det svårare att särskilja aktiva föryngringsåtgärders bidrag till kolbindningen.

Effekt av åtgärd

Bedömning av effekt

Beskogning av jordbruksmark ger nettokolbindning. Detta gäller även med återkommande virkesuttag givet att skörden inte överstiger tillväxten och särskilt om substitutionseffekten räknas in. Den faktiskt utnyttjade arealens storlek och dess produktionsförmåga har avgörande betydelse för åtgärdens effekt. Det nya trädskiktets etableringstid, täthet och tillväxt spelar också in. Störst potential för framgångsrik beskogning och hög kolbindning ger nyligen övergiven åker i goda odlingslägen.

Under etableringsfasen leder nedbrytningen av markkol till större avgång än upptag av CO₂. En positiv nettoeffekt av beskogning kan enligt tillgängliga simuleringsmodeller dröja upp till ett par decennier. Nettoeffekten förväntas variera med tidigare markanvändning (Lundblad m fl 2021). I Lundblad m fl (2021) antogs att den beskogade marken använts för ettåriga grödor, vall eller gröntråda men om marken redan legat för fädot en längre tid kan kolförrådet redan ha hunnit minska så att den negativa effekten av beskogning i sig på markkolet inte blir lika signifikant. Jordar med högt innehåll av markkol i utgångsläget tenderar att avge mer CO₂ under etableringsfasen än jordar med lägre kolinnehåll (Rytter och Rytter 2020).

Lundblad m.fl. (2021) simulerade genomsnittlig kolbindning i etablerade ungsko- gar av åtta olika trädslag på olika bördig jordbruksmark i Götaland, Svealand och Norrland. De fann att utfallet varierade stort mellan olika landsändar samt beroende på trädslag och bördighet. I medeltal på olika marker band björkbestånd 3,3 ton CO₂ ha⁻¹ år⁻¹ och granbestånd 8,5 ton CO₂ ha⁻¹ år⁻¹ under en omloppstid³. Mot- svarande ingångsdata saknas för simuleringar med snabbväxande lövträds- slag men resultat från befintliga odlingsförsök antyder att till exempel poppel på jordbruks- mark kan binda ca drygt 14 ton CO₂ ha⁻¹ år⁻¹ under de första 20 åren. Simulering- arna ger en bild av storleksordningar men resultaten måste tolkas med stor försik- tighet eftersom de bygger på många förenklade antaganden.

För landskapsmosaiker med omväxlande skogsmark och betesmarker med varie- rande trädthet saknas beprövade beräkningsmetoder. En möjlighet är att defini- era olika typfall av landskapsmosaik innehållande jordbruksmark och skogsmark med olika slutenhet att använda som räkneexempel. Genom att först beräkna vil- ket tillskott av kolinlagring som kan tillgodoräknas med olika beståndstäthet

³ Omloppstiden baserad på högsta nuvärde

skulle det därefter gå att simulera ett hypotetiskt markinnehav med olika arealandelar tät beskogning, gles beskogning och öppen betesmark.

Permanens och risker

Jordbruksmark som omförts till skogsmark lyder under Skogsvårdslagen som reglerar lägsta ålder för förnygringsavverkning samt medför krav på viss slutenhet och förnygringsplikt där skogen avverkats. Därmed garanteras CO₂-lagring i växande skog över tid.

På jordbruksmark som planteras med träd utan att pågående markanvändning ändrats förblir jordbruksändamålen överordnade. För att behålla gårdsstöd tillåts till exempel maximalt 20 års omloppstid där slutna bestånd med snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp anlagts. Trädbevuxna betesmarker kan fortsätta att vara stödberättigade om slutenheten begränsas så att fodertillgången i fältskiktet förblir godtagbar. I stödsammanhang har *maximalt 60 träd per hektar betesmark* föreslagits som norm för tillåten täthet men i praktiken blev detta svårt att följa upp på ett rättsäkert och entydigt vis⁴. Jordbruksverket (2012) anger att 100 träd/ha betesmark i genomsnitt minskar foderproduktionen i fältskiktet med 40 % eller mellan 0,5 och 1 ton torrsustans per ha. Om detta inte regleras på annat sätt kan träd på jordbruksmark avverkas som markägaren finner lämpligt.

Additionalitet

Lundblad m.fl. (2021) räknade på utfallet av 10 000 ha ökad årlig beskogning under 20 år och fann att efter 10 år skulle den additionella kolbindningen kunna motsvara ca 50 kton CO₂ per år. När de etablerade skogarna växer till och ytterligare arealer beskogats stiger kolbindningskapaciteten mycket snabbt. Efter 25 år visar simuleringarna att så mycket som 1 000 kton CO₂ per år skulle kunna bindas genom beskogning av tidigare jordbruksmark. Resultaten visar också att givet vilka antaganden som görs kan effekten variera signifikant. Å andra sidan antas förlusten av kol från marken i etableringsfasen vara relativt stor vilket är ett konservativt antagande. Om beräkningarna skulle utgå från trädslag med lägre tillväxt eller glesare skogar kan kolbindningskapaciteten sjunka till en tiondel eller mindre.

Tillförlitliga skattningar av additionalitet försvåras av biotiska och abiotiska utmaningar under etableringsfasen. Den positiva nettoeffekten av aktiv beskogning är inte omedelbar och osäkerheten om vilken CO₂-bindningskapacitet som kan uppnås kvarstår tills de nya träden vuxit över sin mest skadekänsliga höjd. Vidare kan naturligt fröfall från omgivande skog göra att marker som väljs för aktiva beskogningsåtgärder delvis är trädbevuxna. Då kan det bli svårt att kvantifiera tillskottet i CO₂-bindning efter till exempel plantering.

Läckage

Beskogning av outnyttjad jordbruksmark i Sverige bedöms inte medföra ökad risk för avgång av växthusgaser på annan plats.

⁴ Martin Sjö Dahl, Länsstyrelsen i Kronobergs län, personligt meddelande

Kunskapsluckor och osäkerheter

Kol-pooler och flöden under beskogningsfasen

För närvarande saknas detaljerad kunskap om förändringar i kol-flöden och pooler när olika typer av nedlagd jordbruksmark beskogas. Befintliga simuleringar (Lundblad m.fl 2021) utgår från antagandet att tillförsel av förna och uppbyggnad av mark-kol från kvarvarande fältskikt och tidigare jordbruksgrödor upphör i samma ögonblick som beskogningen börjar. Samtidigt antas nedbrytningen av befintligt mark-kol med tillhörande CO₂-avgång fortsätta. Ett troligare förlopp är att fältskiktets förnatillskott fortsätter så länge markvegetationen inte fullständigt skuggats ut av överskärmande träd. Utvecklingen efter beskogning torde också bero på utförd markberedning samt trädbeståndets förnakvalitet, täthet och struktur eftersom dessa faktorer i sin tur kan återverka på biomassatillväxt och omsättningen av markens organiska material. Även om resultatet inledningsvis blir nettoutsläpp av CO₂ under etableringsfasen är det oklart hur länge och vilka mängder det rör sig om. Likaså behövs bättre kunskap om regionala målkonflikter och vilka olika typer av jordbruksmark och utgångslägen för beskogning som erbjuder hög respektive låg potential för effektiv kolbindning i träd.

Vilka arealer kan räknas som "nedlagd" jordbruksmark?

Det krävs uppdaterade och mer entydiga uppgifter om vilka arealer och kategorier av jordbruksmark som potentiellt kan nyttjas för ökad kolbindning i trädbiomassa genom aktiva beskogningsåtgärder. Först därefter blir det meningsfullt att diskutera alternativa odlingssystem (som kan ge additionalitet) och tillhörande metoder för effektutvärdering.

Inom Sverige är "Nedlagd jordbruksmark" en svårdefinierad och dynamisk kategori. Även om Blockkartan innehåller uppdaterade uppgifter om areal och avgränsningar för alla fält som erhåller ekonomiskt bidrag registrerar inte Jordbruksverket var och när jordbruksmark överges. Dessutom växlar den brukade arealen genom att områden överförs till inaktiva block som sedan kan 1) återgå till bidragsberättigat brukande, 2) brukas utan att bidrag söks 3) överges och beskogas långsamt genom naturlig föryngring eller 4) beskogas genom aktiva föryngringsåtgärder efter att länsstyrelsen beviljat ansökan om ändrad markanvändning.

För det fortsatta arbetet behövs metoder att identifiera och lokalisera olika kategorier av övergiven eller extensivt brukad jordbruksmark. Olika myndigheter och inventeringar använder inte definitionerna av skogsmark respektive jordbruksmark likadant. I gråzonen mellan jordbruksmark och skogsmark förekommer också kategorier av markanvändning där olika former av trädodling och extra kolbindning skulle vara möjlig.

Riksskogstaxeringens registreringar är transparenta men har inte tillräcklig upplösning för att urskilja förändringar i arealer på lokal skala. Möjligen kan fjärranalysmetoder som ger en noggrannare kartläggning utvecklas. Om det fanns en stödform som gällde för tidigare jordbruksmark under aktiv beskogning skulle registreringen bli mer robust.

På Riksskogstaxeringens provytor registreras aktuell markanvändning och över tid kan förändringen i regionala arealandelar skogsmark respektive jordbruksmark skattas. Riksskogstaxeringen räknar betad mark >0,25 ha med trädslutenhet >0,3

som produktiv skogsmark. Nedlagd jordbruksmark som inte brukats under de senaste tre åren (ingen slåtter) förs också till produktiv skogsmark. Provytor där jordbruksmark passivt övergivits utan anmälan om ändrad markanvändning glider alltså successivt in i Riksskogstaxeringens register som produktiv skogsmark men kan fortfarande ligga kvar som jordbruksmark i Blockdatabasen.

Vid handläggning av markanvändningsärenden kan länsstyrelserna klassa trädbevuxen jordbruksmark som jordbruksmark så länge den kan återföras till jordbruksproduktion ”utan större insatser”⁵. Även marker där ungskog nått stamdiametrar på 5-7 cm kan bli betraktade som jordbruksmark i länsstyrelsens handläggning. Bedömningarna kan skifta mellan olika länsstyrelser beroende på natur- och kulturmiljövärden, landskapstyp och objektets omgivning.

3.7.1.1 Övrigt

Anpassade produktionsmodeller behöver utvecklas för trädslagsblandningar och andra planteringsmönster.

Förädling och ståndortsanpassat urval av björk, gråal, hybridasp och poppel är i tidig utvecklingsfas.

3.7.2 Minskad avskogning vid exploatering

Vid omvandling av skogsmark till bebyggelse eller infrastruktur förloras kolförrådet i träd och ofta även i mark. Beroende på vilken typ av bebyggelse eller infrastruktur som skapas kan dock förlusterna se ganska olika ut. Omvandling av skogsmark till bebyggd mark ingår i klimatrapporeringen. Det pågår också ett utvecklingsarbete av bland annat SLU när det gäller hur man bäst kan skatta effekterna.

Om man kan minska förlusten av kol vid omvandling av skogsmark till bebyggelse så kan man behålla detta kolförråd. Förlusten av kol kan minskas genom bättre planeringsverktyg, så att man kan välja andra områden än skogsmark för exploatering. Man kan också sträva efter att i högre utsträckning välja sådan skogsmark där förlusten av kol blir mindre, till exempel med ett litet virkesförråd i träd och ett mindre förråd av kol i marken.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Sammanlagt bedöms omvandling från skogsmark och åkermark till bebyggd mark (byggnader och infrastruktur) orsaka utsläpp motsvarande 2,5 miljoner ton CO₂e/år, enligt Sveriges klimatrapporering (National inventory report 2022). Arealen skogsmark som årligen omvandlas till olika former av infrastruktur (bebyggelse, kraftledningar, vägar, järnvägar etc) är ca 8600 ha.

Målkonflikter och synergier

Mindre exploatering kan leda till mindre förlust av skogsmiljöer med sociala värden.

⁵ Ingunn Tryggvadotter, Länsstyrelsen i Kronobergs län, personligt meddelande

Mindre exploatering kan leda till mindre förlust av skogsmiljöer med värden för biologisk mångfald.

Mindre exploatering kan innebära att marken fortfarande kan användas för virkesproduktion.

Hinder

Det är inte alltid möjligt att välja andra platser för exploatering, utan i vissa lägen kan man vara hänvisad till att exploatera skogsmark, om exploateringen ska ske.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

Ansatsen i klimatrapporeringen är att skatta förlust av markkol och förna genom att slå ut förlusten över en 20-årsperiod. För skogsmark antar man att 30 % av förrådet försvinner under en period av 20 år. Det pågår ett utvecklingsarbete av bland annat SLU när det gäller hur man bäst kan skatta effekten av omvandling från skogsmark till bebyggd mark.

Permanens och risker

Vid val av lämplig lokalisering vid exploateringar behöver ett flertal olika faktorer vägas in. Det finns dock inte några direkta risker med att även väga in aspekter av förlust av kolförråd i skogsmark, samt andra aspekter som har med värden i skogen att göra.

Additionalitet

För att åtgärden ska kunna betraktas som additionell behöver den kunna kopplas till specifika styrmedel. Det måste också gå att uppskatta effekten av ett eventuellt styrmedel.

Läckage

Åtgärden bedöms leda till att mer avverkningsbar skog finns kvar. Detta bedöms inte leda till ökad avverkning någon annanstans, utan möjligen i så fall att avverkningen någon annanstans kan minska. Den effekten bedöms dock som liten eftersom det handlar om relativt små arealer.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Det pågår ett utvecklingsarbete när det gäller hur man bäst kan skatta effekten av omvandling från skogsmark till bebyggd mark. Kunskapen om detta behöver utvecklas.

3.8 Åtgärder för att lagra in kol i långlivade produkter

Det som primärt styr vilka produkter som tillverkas av den skogsbiomassa som skördas, är efterfrågan på skogsindustriprodukter i Sverige och internationellt. Vår bedömning är därför att det är svårt att med skogsskötselåtgärder styra hur mycket kol som lagras i långlivade produkter.

Om en större andel av skogsbiomassan används till mer långlivade produkter (framför allt byggande med träkonstruktioner) så bör varje kubikmeter kunna bidra mer till lagerökningen. Om avverkningen ökar i framtiden så kan detta också leda till en ökning i lagret, i och med att mer volym skogsbiomassa tillförs.

En förutsättning för positiv inlagring i produkter är generellt att produktionen av nya produkter är högre än avyttringen av gamla produkter. Vid konstant avverkningsnivå och fördelning mellan produkter kommer kolpoolen i träprodukter att hamna i balans, dvs den varken ökar eller minskar.

Potential att genomföra åtgärd

Omfattning

Ungefär 80 % av den svenska skogsindustriproduktionen går idag på export. Andelen som exporteras har ökat under de senaste 30 åren (se tex www.skogsindustrierna.se).

Livslängden på skogsindustriprodukter varierar mellan ca 80 år för träkonstruktioner i byggnader, ca 30 år för möbler, och ca 2 år för biomassa som används för energiändamål (skogsbränsle och restprodukter från industrin, Lundmark m fl 2014).

Målkonflikter och synergier

Om avverkningen ska öka krävs åtgärder som höjer tillväxten, om inte förrådet av kol i träd ska minska. För tillväxthöjande åtgärder finns ett antal målkonflikter (se avsnitt 3.2).

Hinder

Ett hinder för åtgärden är att det är svårt att med skogsskötselåtgärder styra vad skogsindustriprodukterna i slutänden används till.

Effekt av åtgärd

Bedömning/skattning

I den svenska klimatrapporeringen räknar man med en ökning av det kollager i skogsindustriprodukter som svenskt virke underhåller, i Sverige och utomlands. Ökningen skattas till ca 7 miljoner ton CO₂/år i genomsnitt 1990-2019 (National inventory report 2021). Varje år avverkas i storleksordningen ca 80 miljoner m³sk, vilket indikerar att varje kubikmeter bidrar till i storleksordningen ca 0,09 ton CO₂/år i lagerökning.

Om man i framtiden kommer att använda en större andel av skogsbiomassan till mer långlivade produkter (framför allt byggande med träkonstruktioner) så bör varje kubikmeter kunna bidra mer till lagerökningen. Om avverkningen ökar i framtiden så kan detta också leda till en ökning i lagret, i och med att mer volym skogsbiomassa tillförs.

Permanens och risker

Lagret i skogsindustriprodukter förändras över tid beroende på vad skogsbiomassan används till. Om en mindre andel av skogsbiomassan används till långlivade produkter, eller tillförseln av skogsbiomassa minskar, kan lagret minska.

Additionalitet

För att åtgärden ska kunna betraktas som additionell behöver den kunna kopplas till specifika styrmedel.

Läckage

En ökning av kollagret i skogsindustriprodukter bedöms inte leda till läckageeffekter.

Kunskapsluckor och osäkerheter

Det finns en del osäkerheter i modellerna som används för att skatta storleken på det kollager i produkter som underhålls av svenskt virke.

4 Diskussion av några centrala frågor

4.1 Osäkerheter

Permanens och risker med skogsskador i ett förändrat klimat

Lager av kol i skog finns dels i skogsmark, dels i träd och vegetation. Åldern på kolet i skogsmark är mycket varierande. Färsk förna tillförs årligen, men inlagring har skett i långsam takt sedan den senaste istiden. Särskilt i mineraljorden och i torvmark finns kol av hög ålder. Dessa förråd av kol bör kunna betraktas som lager med hög permanens.

Av de åtgärder vi gått igenom är det bara återvätning som innebär en möjlighet att skapa en kolsänka för ett sådant lager av kol (markkol i torvmark) som har hög permanens. Kolförrådet i humuslagret påverkas i viss utsträckning av hur skogsbruksåtgärder utförs, men vår bedömning är att effekterna är osäkra med det kunskapsläge vi har idag. Detta lager bedömer vi inte heller som lika permanent som lagret i mineraljord eller torvmark.

De flesta av de åtgärder vi gått igenom kan framför allt påverka kolförrådet i träd. På många ståndorter är det naturligt att olika former av skador och störningar av trädskiktet förekommer. Kolförrådet i träd bör därför betraktas som ett lager med lägre permanens. I praktiken kan skogsbrand, stormfällning eller angrepp av skadegörare göra att kolförrådet i träd på kort tid minskar. Även om skogsbruket strävar efter att hålla nere skadorna genom olika åtgärder, kan skadehändelser i praktiken få stort genomslag, vilket kan försvåra möjligheten att planera för att uppnå ett visst kolförråd i träd till ett visst årtal.

Riksskogstaxeringen skattar naturlig avgång under perioden 2015/16-2019/20 till motsvarande 18,3 miljoner ton CO₂/år. Efter år 2000 visar data en ökning i naturlig avgång, vilket bland annat är en effekt av stormarna Gudrun och Per, 2005 och 2007, men också andra skadehändelser. Med ett förändrat klimat förutspås att risken för skadehändelser i form av storm, brand, torka och nya skadegörare på träd kommer att öka. Vi bedömer därför att det är centralt att anpassa skogsbruket på ett sätt som minskar risken för omfattande skadehändelser och som sprider risker.

Läckage

För vissa av de åtgärder som kan påverka kolförrådet i träd finns risk för läckage av koldioxid, dvs att klimatproblemet flyttar. Detta gäller framför allt de åtgärder som kan leda till att avverkningen i Sverige minskar. Mest tydligt är detta för åtgärderna hyggesfritt skogsbruk, avsättning av skog, ökad lövinblandning och minskad avverkningsnivå. Om efterfrågan är konstant och avverkningen i Sverige minskar finns en risk att avverkningen i stället ökar någon annanstans. Risken för läckage innebär en osäkerhet när det gäller effekten av dessa åtgärder på kolsänkan totalt sett. Vår bedömning är att mer kunskap behövs för att kunna avgöra storleken på läckageeffekten. Detta innefattar en bedömning av hur marknaden kan komma att svara på en minskad avverkningsnivå i Sverige.

Substitution

Den genomgång vi gjort här handlar framför allt om att bedöma vilken effekt olika åtgärder har på kolsänkan i träd och mark. Många av underlagen innehåller dock en bedömning av den totala effekten av åtgärden på växthusgasbalansen. I denna bedömning ingår i många fall även en bedömning av effekten på substitution.

Substitution innebär att skogsprodukter ersätter andra material och bränslen som genererat utsläpp av fossil koldioxid. Vilka substitutionsfaktorer som används, och vilka antaganden som i övrigt görs om substitution, varierar mycket mellan olika underlag. Vi uppfattar inte att det idag finns någon etablerad standard för hur effekten av substitution ska beräknas. Det finns därmed en osäkerhet kring storleken på substitutionen.

Storleken på substitutionen beror på vilka material och bränslen som hade använts om inte skogsråvaran funnits. Bedömningen görs oftast i ett livscykelperspektiv. I många fall innefattar underlagen en bedömning av klimatpåverkan av olika handlingsalternativ i framtiden (ofta upp till ca 100 år från idag). Då krävs en bedömning av vilka material och bränslen som skogsråvaran kan ersätta i det tidsperspektivet. Denna bedömning kommer i sig själv att innehålla osäkerheter.

4.2 Målkonflikter och synergier med andra samhällsmål

För en del av de enskilda åtgärder som kan leda till ökad kolsänka finns konflikter med andra samhällsmål. Detta gäller bland annat biologisk mångfald, renskötsel och sociala värden. Till exempel bedömer vi att mer intensiv skogsskötsel är negativt för biologisk mångfald, om inte hänsynen förbättras, eftersom åtgärden missgynnar arter som är beroende av skoglig kontinuitet, död ved samt gamla och senvuxna träd.

För andra åtgärder finns i stället synergier med andra samhällsmål. En av de åtgärder som förordas för att på längre sikt minska risker, klimatanpassa skogsbruket och hålla nere skogsskadorna, är att skapa en högre grad av variation än idag. En ökad variation bedöms i många fall vara positivt även för biologisk mångfald.

I Sverige har vi under en lång period (åtminstone ca 100 år) haft en stadig ökning av kolförrådet i träd. Orsaken till att detta förråd stadigt har kunnat öka är att summan av avverkning och naturlig avgång varit lägre än tillväxten. På landskapsnivå innebär detta att vi gått från ett tillstånd med en högre andel glesare mer betespräglade skogar, till ett tillstånd med tätare skogar. Därför finns idag generella målkonflikter som är kopplade till skogarnas täthet, framför allt för biologisk mångfald, sociala värden och renskötsel.

5 Några slutsatser

- Återvätning av dikad torvmark bedöms vara en åtgärd med god klimatnytta, förutsatt att rätt marker återväts. För återvätning med klimatmotiv bör i första hand näringsrika dikade torvmarker i södra Sverige prioriteras. Åtgärden bör ha god permanens och risken för läckageeffekter bedöms som låg. Det är angeläget att fortsätta bygga upp kunskap om effekter av återvätning genom forskning.
- Åtgärder som ökar trädens tillväxt (mer intensiv skogsskötsel, minskade skogsskador, främmande trädslag, kvävegödsling) kan ge ökad kolinbindning. Detta ger ett ökat kolförråd i träd om den ökade tillväxten inte tas ut i form av ökad avverkning.
- Risken för läckageeffekter bedöms som låg för de åtgärder som ökar tillväxten. För kolförråd i träd finns generellt risk för skogsskador som kan göra att koldioxid åter avgår till atmosfären. Riskerna för detta bedöms öka om skogsskötseln är mer likriktad.
- De skattningar som gjorts indikerar att en av de största potentialerna finns i att undvika skogsskador, samt avgång och tillväxtnedläggningar på grund av förändrat klimat (torka etc). Riskspridning, skadeförebyggande arbete och klimatanpassning framstår därför som mycket centrala åtgärder för att vidmakthålla och ytterligare kunna öka kolförrådet i träd.
- De underlag som finns indikerar att en viss förlängning av omloppstider ger en ökad klimatnytta (dvs total effekt på kolförråd i träd och mark, samt substitution) under en period. För att inte senare tappa kolförrådet, behöver man därefter behålla den nya längre omloppstiden, dvs detta kan betraktas som en ny referens. Underlagen pekar mot att förkortade omloppstider är negativt för klimatnyttan, pga lägre kolförråd i träd och mark, samt lägre substitution (pga minskad avverkningspotential).
- För åtgärder som kan påverka den möjliga avverkningsnivån (omloppstider, skogsskötselsystem såsom hyggesfritt skogsbruk, avsättning av skog, ökad lövinblandning och minskad avverkningsnivå) finns risk för läckageeffekter. Mer kunskap behövs för att kunna bedöma storleken på läckageeffekten med hänsyn till geografisk skala, efterfrågan, varuslag och val av styrmedel.
- Potentialen för CO₂-bindning genom beskogning av tidigare jordbruksmark är god men den positiva nettoeffekten kan förväntas dröja upp till ett par decennier för att därefter öka snabbt. ”Nedlagd jordbruksmark” saknar entydig definition. Extensivt brukad och temporärt övergiven jordbruksmark kan betraktas av Skogsstyrelsen och Riksskogstaxeringens som skogsmark även om pågående markanvändning inte justerats av Länsstyrelsen.

- Av de åtgärder vi gått igenom är det bara återvätning som innebär en möjlighet att skapa ett kollager med hög permanent (markkol i torvmark). De flesta åtgärder kan framför allt påverka kolförrådet i träd. Detta bör betraktas som ett mer osäkert lager, pga riskerna för skadehändelser (skogsbrand, stormfällning och angrepp av skadegörare).
- För vissa åtgärder finns tydliga målkonflikter med andra samhällsmål (framför allt biologisk mångfald, sociala värden och renskötsel), medan det för andra åtgärder finns tydliga synergier. Det finns även generella målkonflikter kopplade till skogarnas täthet, efter att kolförrådet i träd under en lång period (åtminstone ca 100 år) ökat.

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.

Amiro B. D., Barr A. G., Barr J. G., Black T. A., Bracho R., Brown M., Chen J., Clark K. L., Davis K. J., Desai A. R., Dore S., Engel V., Fuentes J. D., Goldstein A. H., Goulden M. L., Kolb T. E., Lavigne M. B., Law B. E., Margolis H. A., Martin T., McCaughey J. H., Misson L., Montes-Helu M., Noormets A., Randserson J. T., Starr G., Xiao J. 2010. Ecosystem carbon dioxide fluxes after disturbance in forests in North America. *Journal of geophysical research* 115:G00K02.

Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 2005. The potential production for Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 204: 1-10.

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.

Boström B., Elofsson K., Gong P., Knutsson A., Munnich-Vass M. 2021. Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn. Rapportutkast, Naturvårdsverket/SLU.

Brunner A. 2021. Stand volume growth varies with age, site index, and stand density – Comments on Stokland (2021). *Forest Ecology and Management* 495:119329.

Börjesson P. (2016). Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi. Rapport Nr 97, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet.

Börjesson P. (2021). Potential för ökad tillförsel av inhemsk biomassa i en växande bioekonomi – en uppdatering. Rapport Nr 121, Miljö- och energisystem, Lunds Universitet.

Elfving, B., Norgren O. 1993. Volume yield superiority of Lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden. SLU, institutionen för genetik och växtfysiologi, rapport 11, 1993.

Europeiska kommissionen 2021. Förslag till EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING om ändring av förordningarna (EU) 2018/841 vad gäller omfattning, förenkling av regler för efterlevnadskontroll, fastställande av medlemsstaternas mål för 2030 och åtaganden för att kollektivt uppnå klimatneutralitet 2035 i sektorn för markanvändning, skogsbruk och jordbruk, och (EU) 2018/1999 vad gäller förbättrad övervakning, rapportering, uppföljning av framsteg och översyn.

Europeiska unionens officiella tidning 2021. FÖRORDNINGAR. EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2021/1119 av den 30

juni 2021 om inrättande av en ram för att uppnå klimatneutralitet och om ändring av förordningarna (EG) nr 401/2009 och (EU) 2018/1999 (europeisk klimatlag).

Fahlvik, N., Johansson, U., Nilsson, U. 2009. Skogsskötsel för ökad tillväxt. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-43-8.

Felton, A., Löfroth, T., Angelstam, P., Gustafsson, L., Hjältén, J., Felton, A.M., Simonsson, P., Dahlberg, A., Lindbladh, M., Svensson, J., Nilsson, U., Lodin, I., Hedwall, P.O., Sténs, A., Lämås, T., Brunet, J., Kalén, C., Kriström, B., Gemmel, P. & Ranius, T. 2019. Keeping pace with forestry: Multi-scale conservation in a changing production forest matrix. *Ambio*, <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01248-0>

Grönlund Ö. (2018). Gallring och slutavverkning av rotskott från hybridasp. Arbetsrapport. 963-2018. SkogForsk, Uppsala.

Goulden M.L., McMillan A.M.S., Winston G.C., Rocha A.V., Manies K.L., Harden J.W., Bond-Lamberty B.P. 2011. Patterns of NPP, GPP, respiration and NEP during boreal forest succession. *Global change biology* 17:855-871.

Gustavsson L., Sathre R., Leskinen P., Nabuurs G-J., Kraxner F. 2022. Comment on "Climate mitigation forestry – temporal trade-offs". *Environmental research letters* 17:048001.

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

Jandl R., Lindner M., Vesterdal L., Bauwens B., Baritz R., Hagedorn F., Johnson D.W., Minkinen K., Byrne K.A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137: 253–268.

Jordbruksverket (2012). Ett klimatvänligt jordbruk 2050. Rapport 2012:35. Jönköping.

Jordbruksverket 2014. Utsläpp av växthusgaser från torvmark. Jordbruksverket rapport 2014:24.

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.

Lindroth A., Holst J., Heliasz M., Vestin P., Lagergren F., Biermann T., Cai Z., Mölder M. 2018. Effects of low thinning on carbon dioxide fluxes in a mixed hemiboreal forest. *Agricultural and forest meteorology* 262: 59-70.

Lundblad M., Roberge C., Mensah A. A., Petersson H. & Stendahl J. (2021). Förslag på uppföljning av åtgärder för ökad kolinlagring och minskade utsläpp i LULUCF-sektorn – Beskogning av tidigare jordbruksmark. SLU. Inst f skoglig resurshushållning, Arbetsrapport 525.

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.

Lundmark, T., Poudel, B.C., Stål, G., Nordin, A., Sonesson, J., 2018. Carbon balance in production forestry in relation to rotation length. *Canadian journal of forest research* 48: 672–678.

Lundmark-Thelin A., Johansson M.B. (1997). Influence of mechanical site preparation on decomposition and nutrient dynamics of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) needle litter and slash needles. *Forest Ecology Management* 96: 101–110.

Lundström A. 2008. Regionala analyser om kontinuitetsskogar och hyggesfritt skogsbruk. Skogsstyrelsen rapport 7 2008.

Mjöfors K., Strömgren M., Nohrstedt H.-Ö., Gärdenäs A.I. 2015. Impact of site-preparation on soil-surface CO₂ fluxes and litter decomposition in a clear-cut in Sweden. *Silva Fennica* 49: article id 1403.

Mjöfors, K., Strömgren M., Nohrstedt H.-Ö., Johansson M., Gärdenäs A. I. 2017. Indications that site preparation increases forest ecosystem carbon stocks in the long term. *Scandinavian Journal of Forest Research* 32: 717-725.

National inventory report Sweden 2022. Greenhouse gas emission inventories 1990-2020. Submitted under the United Nations framework convention on climate change and the Kyoto protocol. Naturvårdsverket 2022.

Nordborg, F., Nilsson U., Gemmel P., Örlander G. 2006. Carbon and nitrogen stocks in soil, trees and field vegetation in conifer plantations 10 years after deep soil cultivation and patch scarification. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 356-363.

Petersson H., Ellison D., Appiah Mensah A., Berndes G., Egnell G., Lundblad M., Lundmark T., Lundström A., Stendahl J., Wikberg P-E. 2022. On the role of forests and the forest sector for climate change mitigation in Sweden. *GCB Bioenergy* 00:1-21.

Pettersson F. 1994. Predictive functions for calculating the total response in growth to nitrogen fertilization, duration and distribution over time. Skogforsk, Report No 4. 1994. ISSN 1103-6648.

Regeringskansliet 2017. Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige. Prop. 2016/17:146.

Rosvall O., Sonesson J. 2011. Bilaga 1 till rapporten Lönsamma åtgärder för ökad tillväxt på Sveaskogs marker. Skogforsk 2011.

Rytter R-M. & Rytter L. 2020. Carbon sequestration at land use conversion – Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest ecology and management* 466.

SCB 2020. Formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark 2020. Sveriges officiella statistik.

Schelker J., Eklöf K., Bishop K., Laudon H. 2012. Effects of forestry operations on dissolved organic carbon concentrations and export in boreal first order streams. *Journal of Geophysical Research* 117m G01011.

SGU 2019. Geologins betydelse vid våtmarksåtgärder – Sätt att stärka tillgången på grundvatten. SGU-rapport 2019:15

Skogsstyrelsen 2015. Lägsta ålder för föryngringsavverkning (LÅF) – En analys av att följer av att sänka åldrarna i norra Sverige till samma nivå som i södra Sverige. Skogsstyrelsen rapport 6 2015.

Skogsstyrelsen 2018. Produktionshöjande åtgärder. Rapport från samverkansprocess skogsproduktion. Skogsstyrelsen rapport 2018/1.

Skogsstyrelsen 2019. Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder. Skogsstyrelsen rapport 2019/23.

Skogsstyrelsen 2021. Klimatpåverkan från dikad torvtäckt skogsmark – effekter av dikesunderhåll och återvätning. Skogsstyrelsen rapport 2021/7.

Skogsstyrelsen 2021b. Hyggesfritt skogsbruk. Skogsstyrelsens definition. Skogsstyrelsen rapport 2021/8.

Skytt T., Englund G., Jonsson B-G. 2021. Climate mitigation forestry – temporal trade-offs. *Environmental Research Letters* 16:114037.

Skytt T., Englund G., Jonsson B-G. 2022. Reply to Comment on "Climate mitigation forestry – temporal trade-offs". *Environmental research letters* 17:048002.

SLU 2017. Redovisning av Naturvårdsverkets uppdrag nr 2251-16-005: Sammanställning av åtgärder inom LULUCF-sektorn tillsammans med uppskattning av effekter för ett par av åtgärderna. Anders Lundström och Per-Erik Wikberg inst. för skoglig resurshushållning, SLU.

SLU 2019. Scenarier för den svenska skogen och skogsmarkens utsläpp och upptag av växthusgaser. Slutredovisning av regeringsuppdrag (beslut N208/01213/SK). SLU id: SLU ua 2019.2.6-1375.

SOU (2015) Attraktiv, innovativ och hållbar – strategi för en konkurrenskraftig jordbruks- och trädgårdsnäring. Slutbetänkande av Konkurrenskraftsutredningen. SOU 2015:15.

SOU 2020. Vägen till en klimatpositiv framtid, Betänkande av klimatpolitiska vägvalsutredningen. SOU 2020:4

Stokland J.M. 2021a. Volume increment and carbon dynamics in boreal forest when extending the rotation length towards biologically old stands. *Forest Ecology and Management* 488:119017.

Stokland J.M. 2021b. Reply: volume increment and carbon balance in old boreal forests. *Forest Ecology and Management* 495:119326.

Strömgren M., Mjöfors K., Olsson B. A. 2017. Soil-surface CO₂ flux during the first 2 years after stump harvesting and site preparation in 14 Swedish forests. *Scandinavian journal of forest research* 32:213-221.

SSR (Svenska Samernas Riksförbund). 2019. Sámiid Riikkasearvi – Skogspolicy. Daterad 2019-06-05. <http://pdf.sapmi.se/wp-content/uploads/2019/06/Skogspolicy-för-Sámiid-Riikkasearvi.pdf> (Hämtad november 2019).

Strand, M., Aronsson, M., & Svensson, M. 2018. Klassificering av främmande arters effekter på biologisk mångfald i Sverige – ArtDatabankens risklista. *ArtDatabanken Rapporterar* 21. ArtDatabanken SLU, Uppsala.

Vestin P., Mölder M., Kljun N., Cai Z., Hasan A., Holst J., Klemedtsson L., Lindroth A. 2020. Impacts of clear-cutting of a boreal forest on carbon dioxide, methane and nitrous oxide fluxes. *Forests* 11:961.

Widenfalk O. 2015. Contortatall i Sverige – en kunskapssammanställning och riskbedömning. Rapport till FSC 2015.

Örlander G., Egnell G., Albrektsson A 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. *Forest Ecology and Management* 86:27-37.

I den här rapporten ger Skogsstyrelsen en översikt av möjliga åtgärder för att öka kolsänkan i skog. Rapporten utgör ett kunskapsunderlag och ett underlag för strategisk planering.