

Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn

Peichen Gong, Anton Knutsson
och Katarina Elofsson

RAPPORT 7037 | MARS 2022



Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn

Peichen Gong, Anton Knutsson och Katarina Elofsson

Beställningar

Ordertel: 08-505 933 40

E-post: natur@cm.se

Postadress: Arkitektkopia AB, Box 110 93, 161 11 Bromma

Internet: www.naturvardsverket.se/publikationer

Naturvårdsverket

Tel: 010-698 10 00

E-post: registrator@naturvardsverket.se

Postadress: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm

Internet: www.naturvardsverket.se

ISBN 978-91-620-7037-3

ISSN 0282-7298

© Naturvårdsverket 2022

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma 2022

Omslag: Pixabay

Förord

Denna studie har utförts av Professor Peichen Gong med hjälp av Anton Knutsson på institutionen för skogsekonomi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå på uppdrag av Naturvårdsverket. Till uppdraget har en expertgrupp knutits, där Katarina Elofsson, professor vid Århus universitet, samt Björn Boström och Miriam Munnich Vass på Naturvårdsverket har ingått, tillsammans med rapportförfattarna.

Studien är finansierad genom anslag från Naturvårdsverket och uppdraget var att studera möjliga styrmedel för att ge incitament till åtgärder i skogen som leder till ökad kolinlagring framförallt i levande träd. Kolinlagring i träd, växter, mark och träprodukter innebär att koldioxid tas bort från atmosfären vilket hjälper till att motverka klimatförändringarna.

Förstärkta kolsänkor kan utgöra ett komplement till de utsläppsminskningar som måste ske i övriga sektorer för att Sverige ska nå sina klimatmål till 2030, 2040 och 2045 och för att EU ska nå netto-nollutsläpp av växthusgaser till 2050. Studien syftar till att analysera lämpliga styrmedel och landa i några övergripande rekommendationer om vilka styrmedel som är mest lämpade för att ge incitament till kolsänkor, ett område som idag saknar direkta styrmedel utöver våtmarkssatsningen.

Åtgärderna som kan vidtas för att öka kolinlagringen i markanvändningssektorn är många och de styrmedel som behöver läggas till för att ge rätt incitament kan variera mellan de olika åtgärderna. I denna studie har forskarna framförallt fokuserat på olika ekonomiska styrmedel, såsom generella stöd och bidrag, omvänd auktionering och skatter. Även administrativa styrmedel, såsom lagar och krav tas upp.

Rapportförfattarna är ansvariga för slutsatserna. Slutsatserna utgör inte Naturvårdsverkets officiella ståndpunkt.

Resultaten ska bidra till Naturvårdsverkets styrmedelsrekommendationer som görs på regelbunden basis till Regeringskansliet.

Stockholm 1 mars 2022

Stefan Nyström
Avdelningschef, Klimatavdelningen

Innehåll

FÖRORD	3
1. SAMMANFATTNING	5
2. SUMMARY	10
3. INLEDNING	15
4. BAKGRUND	16
<i>4.1 Det naturvetenskapliga perspektivet på kolsänkan i skogen</i>	17
<i>4.2 Samhällsvetenskapligt perspektiv på kolsänka</i>	18
<i>4.3 Aktörer som påverkas av kommande styrning av kolsänkan</i>	20
<i>4.4 Existerande styrning som indirekt påverkar styrningen av kolsänkan</i>	20
5. MÖJLIGA ÅTGÄRDER FÖR ATT ÖKA KOLSÄNKAN I SKOGEN	21
<i>5.1 Gödsling</i>	21
<i>5.2 Förlängning av omloppstid</i>	23
<i>5.3 Återvätning av skogsmark</i>	25
6. FÖRSLAG TILL STYRMEDEL	28
7. UTVÄRDERING AV FÖRSLAGET	35
8. KONSEKVENSANALYS	48
9. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	50
10. KÄLLHÄNVISNING	53

1. Sammanfattning

Klimatet håller på att förändras globalt och klimatpolitiken med det. Fler och fler länder runt jorden har nyligen deklarerat att man ställer sig bakom Parisavtalets 1,5-gradersmål och att man antar ambitiösare klimatmål till perioden fram till 2050. Inom EU är medlemmarna överens om att nettoutsläppen av växthusgaser ska vara noll år 2050 och att utsläppen ska minska med minst 55 procent till 2030 jämfört med 1990. Nyligen lade EU Kommissionen fram ett förslag inom LULUCF¹ sektorn som innebär ökade ambitioner när det gäller kolsänkor. Förslaget förhandlas nu inom EU och utfallet för svensk del kan komma att bli ökade krav på att leverera kolsänkor inom jord- och skogsbruket.

Sverige har satt upp målet att ha noll nettoutsläpp redan år 2045, och att därefter uppnå negativa utsläpp. För att nå nettonollutsläpp får kompletterande åtgärder tillgodoräknas inom givna begränsningar. Sådana kompletterande åtgärder kan vara ökat nettoupptag i skog och mark, verifierade utsläppsminskningar i andra länder samt avskiljning och lagring av biogen koldioxid (bio-CCS). Kompletterande åtgärder behövs för att klara klimatmålet om nettonollutsläpp, detta eftersom alla bruttoutsläpp av växthusgaser inte kommer att kunna reduceras till noll till år 2045. Framförallt är det tydligt i jordbrukssektorn där framförallt djurhållning bidrar med utsläpp. Men även inom viss basindustri kan det bli svårt att få ner utsläppen till noll.

Kolsänkor innebär att det sker en nettokolinlagring i skogen, det vill säga att kolförråden ökar i träd, växter, mark och träprodukter. Kolsänkan kan öka genom åtgärder som ökar tillväxten alternativt minskar förlusten av kol genom minskad avverkning eller naturlig nedbrytning. Ett exempel på detta är förlängning av omloppstiden, det vill säga att låta skogen stå längre än vad som är ekonomiskt optimalt innan avverkning. Andra exempel är att gödsla skogsmark, så att skogen växer mer och fortare, samt ökad plantering av träd på områden som inte nyttjas för annan produktion. Åtgärder för ökad kolsänka kan ha både positiva och negativa effekter på olika delar av samhällsekonomin, såsom skogsproduktion, biologisk mångfald och livsmedelssäkerhet.

Förstärkta kolsänkor kan vara en kostnadseffektiv klimatåtgärd, och ett komplement till andra tekniska lösningar för negativa utsläpp. Kolsänkor och andra negativa utsläpp kan dock aldrig ersätta utsläppsminskningar i övriga sektorer som nyttjar fossila bränslen eller där fossila utsläpp idag är en biprodukt i produktionsprocessen.

¹ Land use, land use change and forestry

För att åtgärder för ökad kolsänka i skogen ska komma till stånd krävs incitament för aktörerna på marknaden, framförallt skogsägare, som leder till att de väljer att bruka sin skog på ett alternativt sätt. Bortsett från den lokala naturvårdssatsningen (LONA), Skogsstyrelsens återvätningsavtal och statliga ersättningar i form av åtgärder för att återvåta dikade torvmarker, finns det inga direkta incitament för att binda in mer koldioxid i skogen. Det leder till att de flesta skogsägare inte prioriterar skogsbrukets effekter på kolförråden i skogen. En konsekvens av detta är att nettoinlagringen av kol i skogen är lägre än vad som är optimalt ur ett samhällsperspektiv.

Nettokolinlagring i skogen kan påverkas av en rad åtgärder. Vissa av åtgärderna kan vara samhällsekonomiskt lönsamma, men inte privatekonomiskt lönsamma för alla enskilda markägare. Det räcker inte att länder som Sverige har incitament från EU i form av målsättningar för att satsa på kolsänkor. De enskilda skogsägarna behöver också incitament för att vidta ytterligare åtgärder som kan ge ökade kolsänkor på just den mark de äger.

Problemet som denna studie fokuserar på att lösa är avsaknaden av incitament för att öka kolsänkorna i skogen och hur man bäst utformar incitamenten utifrån givna kriterier. För att kompensera den alternativkostnad som skogsägaren står inför, det vill säga den minskning av vinst som uppstår under en kortare eller längre tid, beroende på vilken klimatåtgärd som vidtas, bör ekonomiska incitament ges. Incitamenten behöver vara tillräckligt stora för att skogsägare ska välja att bruka skogen på ett alternativt sätt, som är bättre för klimatet.

Denna studie har studerat fem olika typer av åtgärder för ökad kolinlagring i skog där det finns tillräckligt bra beräkningsunderlag för att kunna bedöma hur dessa åtgärder skulle kunna bidra till att nå nettonollutsläpp. Dessa åtgärder är kvävegödning av skogsmark, beskogning av nedlagd jordbruksmark, energiskogsodling, förlängning av omloppstid och permanent skydd av skog. Studien omfattar inte alla potentiella åtgärder för ökad kolinlagring i skog, exempelvis inkluderas inte förbättrad ståndortsanpassning, skogsträdförädling, minskade skogsskador, effektivare föryngring och röjning. Återvätning av dränerad näringsrik torvmark bedöms vara en bra klimatåtgärd, men omfattas inte av denna studie eftersom det redan finns styrmedel på plats för denna åtgärd.

Det finns stora skillnader mellan de fem, föreslagna åtgärderna med avseende på kostnadseffektivitet, potentiell effekt på kolsänkorna och hur effekten varierar över tid. Beskogning av nedlagd jordbruksmark är mest kostnadseffektiv – kostnaden för ökade kolsänkor med denna åtgärd är under 100 kronor per ton koldioxidekvivalenter. Emellertid tar det lång tid innan den fulla kolsänkande effekten av beskogning kommer att realiseras. Kostnaden per ton

koldioxidekvivalenter kan nå 200 kronor för åtgärderna kvävegödsling av skogsmark, energiskogsodling och permanent skydd av skog. En fördel med dessa tre åtgärder är att de leder till en ökning av kolsänkan i en snabbare takt än vad som uppnås med beskogning. Kostnaden för en förlängning av omloppstid med 5–20 år uppskattas till 320–450 kronor per ton koldioxidekvivalenter. Liksom permanent skydd av skog kan en förlängning av omloppstiden medföra en omedelbar ökning av kolsänkan i skogen. Kolsänkeökningen till följd av förlängd omloppstid är dock kortvarig. För åtgärden permanent skydd tillkommer förutom klimatnytta även samhällsnytta i form av bevarande av biologisk mångfald och rekreationsvärden.

Den sammanlagda effekten av de olika kompletterande åtgärderna på kolsänkor beror naturligtvis på i vilken utsträckning respektive åtgärder genomförs, vilket i sin tur beror på utformningen av styrmedel inriktade på att främja genomförandet av åtgärderna. Den potentiella ökningen av den årligen gödslade skogsarealen bedöms vara 50 000 hektar², och potentialen för beskogning och energiskogsodling bedöms vara 100 000 respektive 40 000 hektar. Om dessa potentialer utnyttjas fullt ut och omloppstiden antas förlängas med 20 år på 250 000 hektar skog, kan åtgärderna leda till en ökning av kolsänka i skogen med 3,5–5,9 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år fram till år 2045. Detta motsvarar 6,5–11,2 % av Sveriges utsläpp idag på cirka 53 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Effekten av dessa åtgärder år 2046–2100 uppskattas till 1,6–2,5 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Med andra kombinationer av åtgärder blir tidsprofilen för kolsänkeökningen annorlunda.

I studien har vi diskuterat tre olika styrmedel som skulle kunna passa för att skapa incitament till ökade kolsänkor: ekonomiskt stöd till kompletterande åtgärder, betalning för ekosystemtjänster, statliga inköp av ökad kolsänka genom omvänd auktion samt utsläppshandel, det vill säga handel med verifierad ökning av nettokolinlagring i skog och mark. Ekonomiskt stöd är ett vanligt styrmedel som används i flera länder för att stimulera olika klimatåtgärder inom LULUCF sektorn, till exempel riktat mot beskogning eller gödsling av skogsmark. Sverige har haft en lång tradition av att främja utvecklingen av skogssektorn med hjälp av ekonomiskt stöd till åtgärder som från samhällets synpunkt är angelägna men som för skogsägaren ger avkastning i en förhållandevis avlägsen framtid. Vår bedömning är att det finns goda förutsättningar för att snabbt införa ekonomiskt stöd till utvalda åtgärder för att öka kolsänkan i skogen.

Varje åtgärd kan resultera i olika effekter på kolsänkan beroende på de specifika egenskaperna hos den mark eller skog där åtgärden genomförs. Markägaren som beviljas ekonomiskt stöd för att vidta en viss åtgärd kan sakna starka motiv för att se till att åtgärden verkligen leder till förväntad ökning av kolsänkan. Därför är

² Den totala arealen skogsmark i Sverige uppgår till 28 milj. Hektar.

ekonomiskt stöd riktat mot själva åtgärden inte alltid kostnadseffektivt. Betalning för ökad kolsänka genom omvänd auktion ger markägare incitament att välja kostnadseffektiva åtgärder för att öka kolsänkan. Omvänd auktion innebär i detta sammanhang att markägaren som vill ha ekonomiskt stöd för att genomföra en given åtgärd i skogen deltar i en auktion där den markägare som kan utföra åtgärden till lägsta kostnad beviljas stödet. Givetvis kan den avsatta budgeten räckas till flera markägare och olika sorters åtgärder. Det senare beror på den detaljerade utformningen av styrmedlet. Omvända auktioner ökar konkurrensen mellan markägare om möjligheten att genomföra olika klimatåtgärder och samtidigt göra vinst, vilket ger lägre utgifter för staten för att uppnå en given, additionell ökning av kolsänkan.

Kostnadseffektiviteten för kompletterande åtgärder kan ökas ytterligare genom utsläppshandel som ger företag, organisationer och privatpersoner möjlighet att kompensera sina utsläpp med hjälp av ökad kolsänka, eller att frivilligt bidra till att minska nettoutsläpp av växthusgaser. Deltagande av dessa aktörer i utsläppshandeln bidrar även till att säkerställa finansiering av projekt inriktade på att öka kolsänkan i skogen.

En nödvändig förutsättning för att genomföra omvänd auktion eller utsläppshandel för att öka kolsänkan i skogen är tillgång till standardiserade metoder för att beräkna, redovisa och verifiera den kolsänkeökning som följer av olika åtgärder. Vår rekommendation är att staten ska börja med att ge markägare ekonomiskt stöd för att öka omfattningen av skogsgödsling och beskogning av nedlagd jordbruksmark med låga naturvärden, och samtidigt satsa på att skapa förutsättning och infrastruktur för att genomföra omvända auktioner och handel med LULUCF-krediter för att förstärka kolsänkan i LULUCF-sektorn.

Effekten av ekonomiskt stöd till förlängning av omloppstider och permanent skydd av skog på kolsänkan i skogen är osäkra på grund av kolläckage. En måttlig förlängning av omloppstiden kommer att öka virkesproduktionen på längre sikt, vilket innebär mer och billigare råvara till skogsindustrin och större potential till ökad bioenergiproduktion, medan en kraftig förlängning av omloppstiden har motsatt effekt. Att ensidigt öka arealen skyddad skog kommer att ha negativa effekter på skogsindustrin och bioenergiproduktion på både kort och lång sikt. Å andra sidan skulle de negativa effekterna på skogsindustrin minska om en ökad areal skyddad skog kombineras med tillväxthöjande åtgärder. Utformning av styrmedel inriktade på dessa åtgärder behöver utredas vidare.

Slutligen rekommenderas fortsatt forskning/utredning av följande aspekter: utformning av en kostnadseffektiv styrning av andra åtgärder som kan bidra till att öka upptag av koldioxid i skogen, såsom ökad andel löv- och blandskog, hyggesfritt skogsbruk och åtgärder för att minska skador på skog. Dessutom

behövs en strategi för att åstadkomma en hållbar ökning av kolsänkan i träprodukter samt analyser av effekterna av skogliga åtgärder på möjligheten att minska utsläpp inom andra sektorer genom att ersätta fossila bränslen och material som orsakar utsläpp av växthusgaser med biobaserade sådana.

2. Summary

The climate is changing globally and climate policy with it. More and more countries around the world have recently declared their support for the Paris Agreement's 1.5°C target and that they are adopting more ambitious climate targets to 2050. Within the EU, member states have agreed that net greenhouse gas emissions should be zero by 2050 and that emissions should be reduced by at least 55% by 2030 compared to 1990. Recently, the European Commission presented a revision of the Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) Regulation that implies increased ambitions for carbon removals. The proposal is now being negotiated within the EU and the outcome for Sweden may be increased requirements to deliver additional carbon removals in agriculture and forestry.³

Sweden has set a goal of having zero net emissions as early as 2045, and thereafter achieving negative emissions. To achieve net-zero emissions, complementary measures may be credited within given limits. Such complementary measures may include increased net removals in the LULUCF-sector, verified emission reductions in other countries and the capture and storage of biogenic carbon dioxide (bio-CCS). Complementary measures are needed to meet the net-zero emissions target, as all gross greenhouse gas emissions will not be reduced to zero by 2045. This is especially evident in the agricultural sector, where animal husbandry contributes to emissions. But even in some industries, it can be difficult to bring emissions down to zero.

Carbon sinks mean that there is a net carbon storage in the forest, that is, that carbon stocks increase in trees, plants, land and wood products. The carbon sink can be increased through measures that increase growth or reduce the loss of carbon through reduced felling or natural degradation. An example of this is an extension of the rotation time, i.e. to let the forest stand longer than is economically optimal before felling. Other examples include fertilizing forest land, so that the forest grows more and faster, as well as increased planting of trees in areas that are not used for other production. Measures to increase the carbon sink can have both positive and negative effects on different parts of the national economy, such as forest production, biodiversity and food safety.

Reinforced carbon sinks can be a cost-effective climate action, and a complement to other technical solutions for negative emissions. However, carbon sinks and other negative emissions can never replace emission reductions in other sectors that

³ Land use, land use change and forestry

use fossil fuels or where fossil emissions are currently a by-product of the production process.

In order for measures to increase carbon sink in the forest, incentives are required for market participants, especially forest owners, which potentially lead them to use their forest in an alternative way. Apart from the local conservation initiative (LONA), the Swedish Forest Agency's re-wetting agreements and government compensation in the form of measures to rewetting of drained peatlands, there are no direct incentives to store more carbon dioxide in the forest. As a result, most forest owners do not prioritize carbon storage. One consequence of this is that the net storage of carbon in the forest is lower than is optimal from a societal perspective.

Net carbon storage in the forest can be affected by a number of measures. Some of the measures may be economically viable for some or all individual landowners. It is not enough that countries such as Sweden have incentives from the EU in the form of targets to invest in carbon sinks. Individual forest owners also need incentives to take further measures that can increase carbon sinks on the land they own.

The problem that this study focuses on solving is the lack of incentives to increase carbon sinks in the forest and how best to design incentives based on some given criteria. In order to compensate for the opportunity cost faced by the forest owner, i.e. the reduction in profits that occurs over a shorter or longer period of time, depending on the climate action taken, financial incentives should be provided. The incentives need to be large enough for forest owners to choose to use the forest in an alternative way, which is better for the climate.

This study has studied five different types of measures for increased carbon storage in forests where there is sufficient data available to calculate and assess how these measures could contribute to reaching net-zero emissions. These measures include nitrogen fertilization of forest land, afforestation on disused agricultural land, energy forest cultivation, extension of forest rotation length and permanent protection of forests. The study does not cover all potential measures for increased carbon storage in forests, for example, improved county adaptation, forest tree breeding, reduced forest damage, more efficient regeneration and clearing are not included. Rewetting of drained nutrient-rich peatland is considered a good climate measure but is not covered by this study as there are already instruments in place for this measure.

There are major differences between the five proposed measures in terms of cost-effectiveness, potential effect on carbon sinks and how the effect varies over time. Afforestation of disused agricultural land is most cost-effective – the cost of increased carbon sinks with this measure is less than SEK 100 per tonne of carbon

dioxide equivalent. However, it will be a long time before the full carbon-lowering effect of afforestation will be realized. The cost per tonne carbon dioxide equivalents can amount to SEK 200 for the measures nitrogen fertilization of forest land, energy forest cultivation and permanent protection of forests. One advantage of these three measures is that they lead to a faster increase in carbon sinks than is achieved by afforestation. The cost of extending the rotation period by 5-20 years is estimated at SEK 320-450 per tonne of carbon dioxide equivalent. In addition to permanent protection of forests, an extension of rotation time can lead to an immediate increase in carbon sink in the forest. However, the increase in carbon sinks due to extended rotation time is short-lived. In addition to climate benefits, permanent protection also benefits biodiversity conservation and recreational values.

The overall impact of the various accompanying measures on carbon sinks naturally depends on the extent to which each measure is implemented, which in turn depends on the design of instruments aimed at promoting the implementation of the measures. The potential increase in the annually fertilized forest area is estimated to be 50,000 hectares,⁴ and the potential for afforestation and energy forest cultivation is estimated to be 100 000 and 40 000 hectares respectively. If these potentials are fully exploited and the rotation period is assumed to be extended by 20 years on 250 000 hectares of forest land, the measures could lead to an increase in carbon sinks in the forest by 3.5-5.9 million tonnes of CO₂ equivalent per year by 2045. This corresponds to 6.5-11.2% of Sweden's emissions today of approximately 53 million tonnes of carbon dioxide equivalent per year. The impact of these measures in 2046-2100 is estimated at 1.6-2.5 million tonnes of CO₂ equivalent per year. With other combinations of measures, the time profile of the carbon sink increase will be different.

In the study, we discussed three different policy instruments that could be suitable for creating incentives for increased carbon sinks: financial support for complementary measures/payment for ecosystem services, government purchases of increased carbon sinks by reverse auction, and emissions trading, i.e. trade in verified increase in net carbon storage in forests and land. Financial support is a common instrument used in several countries to stimulate various climate measures in the LULUCF sector, for example towards afforestation or fertilization of forest land. Sweden has had a long tradition of promoting the development of the forest sector through financial support for measures that from society's point of view are urgent but which for the forest owner yield returns in the relatively distant future. Our assessment is that there are good conditions for quickly introducing financial support for selected measures to increase the carbon sink in the forest.

⁴ The total area of forest land in Sweden amounts to 28 million (28 million). Hectare.

Each measure may result in different effects on the carbon sink depending on the specific characteristics of the land or forest in which the measure is implemented. The landowner who is granted financial support to take a particular action may lack strong motives to ensure that the measure leads to an expected increase in the carbon sink. Therefore, financial support directed at the measure itself is not always cost-effective. Payment for increased carbon sinks through reversed auction gives landowners incentives to choose cost-effective measures to increase the carbon sink. In this context, reverse auction means that the landowner who wishes for financial support to carry out a given measure in the forest participates in an auction where the landowner who can carry out the measure at the lowest cost is granted the aid. Of course, the allocated budget can be sufficient for several landowners and different types of measures. The latter depends on the detailed design of the instrument. Reverse auctions increase competition between landowners for the ability to implement various climate measures while making a profit, resulting in lower spending for the state to achieve a given, additional increase in the carbon sink.

The cost-effectiveness of accompanying measures can be further increased by giving companies, organisations and individuals the opportunity to offset their emissions through increased carbon sinks, or to voluntarily contribute to reducing net greenhouse gas emissions. The participation of these operators in the trade also helps to ensure the financing of projects aimed at increasing the carbon sink in the forest.

A necessary prerequisite for conducting reverse auctions or emissions trading to increase the carbon sink in the forest is access to standardized methods for calculating, accounting and verifying the carbon sink increase resulting from various measures. Our recommendation is that the state should start by providing landowners with financial support to increase the extent of forest fertilization and afforestation of disused agricultural land with low natural values, while at the same time investing in creating the conditions and infrastructure to conduct reverse auctions and trade in LULUCF credits to strengthen the carbon sink in the LULUCF sector.

The effect of financial support for the extension of rotation times and the permanent protection of forests on the carbon sink in the forest is uncertain due to carbon leakage. A moderate extension of the rotation time will increase timber production in the longer term, which means more and cheaper raw materials for the *forest industry and greater potential for increased bioproduction*, while a strong extension of the rotation time has the opposite effect. Unilaterally increasing the area of protected forests will have negative effects on the *forest industry and bioproduction* in both the short and long term. On the other hand, the negative effects on the forest industry would be reduced if an increased area of protected forests is combined with growth-enhancing measures in other forest areas. The

design of policy instruments focused on these measures needs to be further investigated.

Finally, further research/investigation of the following aspects is recommended: designing cost-effective policy instruments of other measures that can help increase the uptake of carbon dioxide in forests, such as an increased share of deciduous and mixed forests, no clear-cutting forestry and measures to reduce forest damage. In addition, a strategy is needed to achieve a sustainable increase in the carbon sink in wood products and analyses is needed of the effects of forest measures on the possibility of reducing emissions in other sectors by replacing fossil fuels and materials that cause greenhouse gas emissions with bio-based ones.

3. Inledning

Kolsänkor i skogen uppstår när koldioxid fångas upp från atmosfären och lagras i både mark och levande biomassa. Denna lagring bidrar till minskade utsläpp, eller ger så kallade negativa utsläpp, och är bra för klimatet. Behovet av ökade kolsänkor finns nu och under en lång tid framöver för att kompensera för utsläpp i andra sektorer som är svåra att reducera. För att få till en ökad mängd kolsänkor krävs incitament för aktörerna, framförallt för skogsägare. Syftet med denna studie är att analysera möjliga styrmedel för olika åtgärder i skogsbruket som kan bidra till ökade kolsänkor.

Analysen är baserad på den senaste vetenskapliga litteraturen på området samt analyser som gjorts i offentliga utredningar och rapporter. Styrmedelsanalysen har gjorts av skogs- och miljöekonomer med vana att analysera styrmedel med utgångspunkt i en eller flera problemställningar, eller i så kallade marknadsmisslyckanden. Till arbetsgruppen har även knutits en referensgrupp.

Denna studie avgränsas till Sverige och fokuseras på styrmedel för att öka energiskogsodling och beskogning, samt några åtgärder inom skogsbruket. Alla möjliga åtgärder och styrmedel är inte listade utan fokus har lagts på ett antal åtgärder som bedöms kunna bidra signifikant till ökad kolinlagring och där det finns beräkningsunderlag. Styrmedelsanalysen avgränsas till de viktigaste ekonomiska styrmedlen som beskrivs i litteraturen. Med andra ord täcker inte studien hela markanvändningssektorn, det vill säga den så kallade LULUCF-sektorn. Kolsänkor inom jordbruket behöver analyseras separat eftersom åtgärder och existerande styrning i jordbruket kan leda till andra rekommendationer än de som läggs fram här.

Studien inleds med en problemanalys, med en beskrivning av de huvudsakliga problemen som behöver lösas med styrmedel, följt av en aktörsanalys som utvecklar hur incitamenten för marknadens olika aktörer ser ut. Sedan följer en beskrivning av olika åtgärder som kan öka kolsänkor i skogen och deras potential till volymökningar. Sist kommer styrmedelsanalysen där de mest lämpade ekonomiska styrmedlen beskrivs och diskuteras utifrån en rad givna styrmedelskriterier. Studien avslutas med rekommendationer till politiker och andra beslutsfattare.

4. Bakgrund

Stående skog, skogsmark och produkter gjorda av trä lagrar kol. När skog växer binder den in koldioxid i stammen, grenarna, och rötterna samt i lövverk och barr. När blad, barr och hela träd faller naturligt, eller huggs ner, bildas markkol av de delar som lämnas kvar i skogen. Kol finns också lagrat i produkter gjorda av trä och lagras på kortare eller längre sikt beroende på produktens livslängd. Skogen och träprodukterna utgör kolsänkor när kolförråden i levande biomassa, mark och träprodukter ökar över tid. Att öka kolsänkan i skogen är en viktig kompletterande åtgärd för att nå det nationella målet om nettonollutsläpp i Sverige. Dessutom bidrar åtgärder till att öka kolsänkan i skogen till att nå EU:s klimatmål.

Den största kolinlagringen sker i levande träd, det vill säga i levande biomassa. Över tid har inlagringen i träprodukter ökat då avverkningen och tillverkningen av sådana produkter varit större än degraderingen av dem. Vissa produkter, såsom trähus, har en mycket lång livslängd. För andra kortlivade produkter, såsom papper och biobränslen, återgår kolet i biomassan till atmosfären mycket kort tid efter skörd. Biobränslen från skogen används framförallt för att producera värme och el och i massaindustrin. Kolförrådet i skogsmark i Sverige är nästan dubbelt så stort som i levande träd (Skogforsk, 2019), nettoupptaget är dock mindre i marken och mer permanent.

För ett enskilt skogsbestånd har kolsänkan i stående skog och skogstillväxten ett linjärt samband på ett till ett. Tillväxtmönstret i stående skog är dock inte linjärt över tid utan s-linjeformat. Det betyder att under skogens första levnadsår växer den relativt långsamt, för att sedan växa fort under en större del av sin livslängd. När skogen senare mer eller mindre nått sin maximala storlek slutar den att växa och tillväxtkurvan planar ut.

Naturvetenskapligt kan kolinlagringen i skogen uppskattas relativt väl på nationell nivå. Kunskapen om hur mycket kol som olika skogstyper lagrar in är dock sämre, och detsamma gäller effekten av olika åtgärder på kolinlagring på beståndsnivå. Mätmetoderna utvecklas hela tiden utifrån praktiska möjligheter och minskande mätkostnader. Trots det är det svårt att uppskatta volymen kolsänkor i ett land och hur man gör det i praktiken skiljer sig åt i olika länder. Rapporteringen är dock formell och sker enligt gällande regelverk till UNFCCC och EU.

Det finns också osäkerheter vad gäller permanensen i sänkorna, det vill säga hur permanent inlagringen av kol är. En skog kan snabbt fällas eller förstöras genom brand, storm eller skadedjur, och då upphör inlagringen och det inlagrade kolet återgår snabbt eller på sikt till atmosfären igen. Sammantaget innebär detta att

osäkerheten angående åtgärder för ökad kolsänka ofta är betydligt större än de är för åtgärder för minskade fossila utsläpp, där det finns schablonvärden för kolinnehållet i varje fossilt bränsle.

4.1 Det naturvetenskapliga perspektivet på kolsänkan i skogen

Utsläpp av växthusgaser och framförallt koldioxid leder till växthuseffekter och global uppvärmning. Utsläppen kommer framförallt från förbränning av fossila bränslen i form av olja, kol och naturgas, men även från ohållbar markanvändning, framförallt avskogning i utvecklingsländer. Det är skillnad mellan fossilt och biogent kol, om biomassan produceras på ett hållbart sätt i ett cirkulärt system där fällda träd ersätts av nya. Av den anledningen betraktas förbränning av biomassa ofta som klimatneutralt. Biogena koldioxidutsläpp registreras som nollutsläpp i statistiken över utsläpp i energisektorn eftersom kolförrådsförändringar orsakade av skogsavverkning registreras i markanvändningssektorn, enligt det regelverk som berör LULUCF-området. Därmed bokförs det när en skog huggs ner och en förlust av kolsänka registreras.

Förstärkta kolsänkor inom LULUCF-sektorn kan vara ett komplement till andra tekniker för negativa utsläpp som bio-CCS. Det finns vissa avgörande skillnader mellan de olika teknikerna för negativa utsläpp. Bio-CCS innebär permanent upptag av koldioxid från atmosfären, i motsats till de flesta åtgärder inom LULUCF-sektorn. Å andra sidan kan vissa åtgärder inom LULUCF-sektorn vara mer kostnadseffektiva och bidra till andra nyttigheter. Förstärkta kolsänkor är en av flera möjliga kompletterande åtgärder i strävan mot att nå nettonollutsläpp av växthusgaser till 2045. Detta för att de bidrar med så kallade negativa utsläpp som kan kvittas mot ett positivt utsläpp från exempelvis jordbrukssektorn där utsläppen av lustgas och metan är svårare att få ner. Dessutom är det generellt en åtgärd som kan mobiliseras relativt snabbt om det skulle bli mycket akut att få ner utsläppen. Exempelvis kan återvätning av dränerad, näringsrik torvmark, minskad avskogning, skogsgödsling respektive minskad skogsavverkning ge snabb effekt, medan andra åtgärder kan ta längre tid. De svenska skogarna växer till exempel långsamt. Vidare har vissa åtgärder för ökad kolinlagring positiva effekter på andra miljö- och samhällsmål, inte minst för den biologiska mångfalden, och då gäller det framförallt åtgärder som återvätning av dränerad näringsrik torvmark, minskad avskogning, skogsjordbruk, minskad avverkning och förlängda omloppstider.

Ur klimatsynpunkt är det generellt sett optimalt att avverka produktionsskog när tillväxten kulminerat, vilket dock inträffar senare än den ekonomiskt optimala avverkningstidpunkten. När skogen är avverkad, är det bäst för klimatet att använda de avverkade delarna till substitution, antingen som ersättning för fossila bränslen eller andra fossilbaserade produkter, till exempel plast, eller i form av långlivade produkter som hus och möbler, vilka kan lagra koldioxid under många

år. De olika delarna av trädet används för olika ändamål: restprodukter i form av grenar och rötter används huvudsakligen till biomassa i syfte att göra energi och trädstammar används till olika sorters träprodukter såsom husbyggen.

Åtgärder för att öka sänkan utgör ett komplement till de åtgärder som redan görs för att minska förbrukningen av fossila bränslen. Det är med andra ord inte ett substitut för att minska fossilanvändningen. För att klara de ambitiösa klimatmålen i Sverige och inom ramen för Parisavtalet behöver mer kraft läggas både på att minska utsläppen och på att öka upptaget/inbindningen av kol.

4.2 Samhällsvetenskapligt perspektiv på kolsänka

Sverige har idag styrmedlen koldioxidskatt och handel med utsläppsrätter inom ramen för EU ETS. Båda sätter ett pris på utsläpp av koldioxid, vilket påverkar aktörer som släpper ut koldioxid i atmosfären. På så sätt internaliserar staten den kostnad som växthuseffekten medför i priset på varan. Detta förfarande beskrivs inom miljöekonomisk teori som att samhället internaliserar en negativ extern effekt som marknaden själv inte tar hänsyn till i produktionen/konsumtionen om inte den politiskt beslutade styrningen finns. Det ger en mer välfungerande marknad där, i det här fallet, skogsresursen allokeras mer effektivt.

Skogen tar upp koldioxid från atmosfären. Det innebär att samhället får en så kallad positiv extern effekt från kolsänkan: den skapar ytterligare nytta för samhället utöver den primära nyttan av stående skog. Vill samhället ha mer kolsänka än vad marknaden levererar behöver samhället ge markägaren incitament att vidta additionella åtgärder som medför ökad kolinlagring. Det görs enklast genom att ge skogsägaren incitament att vidta åtgärder för att öka skogens tillväxt eller bevara skogen så att den tar upp och lagrar så mycket kol som möjligt. Incitamentet består oftast i ett ekonomiskt bidrag som kan utformas på lite olika sätt beroende på vad man vill åstadkomma från samhällets sida.

Idag saknas incitament för skogsägare i Sverige att bedriva ett skogsbruk som ökar kolsänkan i skogen till den nivå som är optimal ur samhällssynpunkt. Marknaden betalar däremot för varje kubikmeter avverkat timmer och de restprodukter som skogen levererar. Därför kommer den skog som ägs och avverkas på marknadsmässiga grunder att skötas på ett sätt som gör att ägaren får maximal avkastning från skogen. Ofta innebär det att skogsägaren avverkar träden tidigare än vad som vore optimalt ur ett klimatperspektiv och ur samhällssynpunkt.

I ett styrningsperspektiv, när samhällets resurser ska allokeras till olika ändamål, är det viktigt att bara ge incitament till en ytterligare, additionell sänka och inte till all sänka som skulle ha kommit till stånd även utan stöd. Det kan dock vara svårt att avgöra vilka åtgärder som är additionella och behöver stöd. Detta problem och dess potentiella lösningar diskuteras i den vetenskapliga litteraturen.

För att styrningen ska fungera och få den önskade samhällseffekten i form av en ökad storlek på kolsänka i och från skogen, behöver hinder och problem undanröjas. De hinder som kan inverka på effektiviteten i styrningen är bland annat att skogs- eller markägare inte agerar som önskat utifrån de ekonomiska incitamenten, och att det råder stor konkurrens om marken och därmed en inneboende konflikt om vad den ska användas till.

Det finns många möjliga anledningar till att vissa markägare inte agerar på de ekonomiska signaler och incitament som marknaden och staten ger genom sin styrning. Det kan exempelvis bero på brist på kunskap, att de ekonomiska incitamenten inte är tillräckligt starka eller att en markägare har andra målsättningar än ekonomisk avkastning. Ett exempel på det är skogsägare som förvaltar sin skog på ett icke-marknadsbaserat sätt och till exempel vill att skogen ska bevaras tills den faller naturligt. Ett sådant förfarande är bra ur ett biologiskt mångfaldsperspektiv, men inte lika bra ur ett klimatperspektiv där man antingen vill nyttja mogen skog till olika sorters produkter, alternativt låta den stå som sänka till dess att den inte växer mer och därmed inte lagrar in mer kol. För att övervinna så kallade beteendemisslyckanden kan det krävas andra sorters styrning än ekonomiska incitament.

Det andra hindret rör konkurrensen om marken, där markägaren primärt bestämmer hur den ska användas, utifrån de lagar och regler som finns att förhålla sig till. Vill samhället genom staten påverka hur marken används kan staten använda ytterligare styrmedel beroende på vad man vill åstadkomma. De piskor eller morötter som staten då kan införa behöver vara så starka att de kompenserar för den alternativkostnad som finns, det vill säga den kostnad det innebär att ge upp en nuvarande användning för att satsa på något nytt. Dessutom behöver markägaren ha den information som behövs för att fatta bäst beslut om sin markanvändning. Informationen rör bland annat vad som ger högst avkastning, vilka naturliga förutsättningar marken har för att konverteras till en alternativ användning (exempelvis kan inte alla sorters träd växa på alla sorters jordar eller i alla sorters klimatzoner), vad som är bäst användning av marken utifrån de värderingar som markägaren har samt vilka styrmedel som finns att förhålla sig till. Informationsbristen hos små markägare kan vara påtaglig och man behöver därför från statens håll satsa på information och informationsstyrmedel.

Det finns dock även synergier som gör att det kan bli enklare och effektivare att styra. Dessa synergieffekter uppstår framförallt genom att den sorts skogsskötsel som är bra för den biologiska mångfalden ibland sammanfaller med en ökad inlagring av kol i skogen. Ett intensivare skogsbruk kan dock vara negativt för den biologiska mångfalden och då är det viktigt att komplettera med förstärkta åtgärder för det senare.

4.3 Aktörer som påverkas av kommande styrning av kolsänkan

De aktörer som finns inom skogssektorn och som berörs av ny styrning för att skapa ökade kolsänkor är framförallt skogsägare, men även jordbrukare som vill plantera skog på sina ägor. Dessa markägare är inte en homogen grupp, utan har olika drivkrafter för hur de brukar sin mark. För vissa markägare är ekonomisk vinst viktigast medan andra prioriterar etiska värden och miljöaspekter högre. För att kunna påverka dessa olika grupper med hjälp av ekonomiska incitament krävs dels att de är påverkningbara, dels villiga att ställa om sitt beteende när de ekonomiska förutsättningarna förändras.

Därutöver finns det aktörer som indirekt påverkas av styrmedel, framförallt de som tillverkar trä- och massaprodukter och därmed köper in trä- och bioprodukter från skogen. Även dessa grupper styrs av olika idéer och syften.

4.4 Existerande styrning som indirekt påverkar styrningen av kolsänkan

Idag finns styrning och incitament från olika sorters styrmedel med andra syften än att främja klimatet. Dessa styrmedel påverkar indirekt hur mycket kolsänka vi har i skogen och kan påverka i både positiv och negativ riktning. Styrmedlen är framförallt nationella, men härrör även från regional styrning och från EU. Styrmedel som påverkar är bland annat skogsvårdslagen och styrmedel för biologisk mångfald (biotopskydd med mera), jordbruksproduktion (CAP och jordbruksstöden), bioenergi (mål och styrmedel som elcertifikat, reduktionsplikt) och skydd av skog.

När staten lägger på ytterligare styrning, såsom man avser att göra för att ge incitament till ökade kolsänkor i skogen, behöver man analysera vad det innebär för den existerande styrningen och vad den kan komma att innebära för den nya styrningen. Avsikten är att styrmedlen ska kunna samverka och uppfylla flera mål samtidigt, det vill säga ge synergieffekter. Det är dock inte alltid möjligt då det kan finnas konflikter mellan olika miljö- och samhällsmål.

5. Möjliga åtgärder för att öka kolsänkan i skogen

Skogen kan vara antingen en källa eller en sänka för växthusgaser beroende på hur den sköts. Skog täcker ungefär 70 % av Sveriges landareal, ca 28 miljoner hektar, och utgör en stor kolsänka i landet. Avskogning sker huvudsakligen på grund av utbyggnad av bostadsområden och transportinfrastruktur. Samtidigt finns det relativt stora arealer nedlagd jordbruksmark som kan beskogas i landet. Beskogning, återvätning av dränerade torvmarker och ändring i skötseln av existerande skogar har identifierats som åtgärder som har störst potential för att minska nettoutsläppen av växthusgaser i Sverige.

Kolsänkan i skogen kan stärkas genom ökad skogstillväxt (vilket innebär större upptag av koldioxid från atmosfären), minskade växthusgasutsläpp från skogsmark och/eller minskat uttag av biomassa vid skogsavverkning. I det här kapitlet beskriver vi några åtgärder som kan bidra till att förstärka kolsänkan i skogen på respektive sätt. Det finns en lång rad åtgärder som kan vidtas för att öka skogstillväxt (Skogsstyrelsen, 2018). En utmaning här är att det är svårt att göra robusta effektbedömningar av vissa åtgärder på kolsänkan i den brukade skogen i ton koldioxid per hektar. Exempelvis är det ur klimatsynpunkt mycket viktigt att förebygga och motverka pågående skadehändelser som granbarkborrenagrep, viltskador med mera, men svårt att kvantifiera effekten av sådana förebyggande åtgärder i miljoner ton koldioxid.

5.1 Gödsling

Kvävegödsling är ett effektivt sätt att öka kolinlagringen, speciellt med tanke på hur snabbt resultatet kan observeras. Kvävegödsling har två funktioner i ökningen av kolbindning. För det första ökar gödslingen skogstillväxten, vilket gör att träden kan binda en större mängd kol. För det andra ökar den kvävehalten i marken, vilket bromsar nedbrytningen av död ved som i sin tur gör att den koldioxid som annars släppts ut vid nedbrytning minskar eller i vissa fall helt upphör.

Enligt en rapport framtagen om skogsbruket av Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen, 2018) skulle en ökning av kvävegödslingsåtgärder i svenska skogar ge en betydande effekt på den totala kolbindningen. Kvävegödsling appliceras idag på mellan 25 och 50 tusen hektar årligen, men enligt rapporten finns det utrymme för att öka detta till 100 tusen hektar årligen. Givet att gödsling appliceras på 100 tusen hektar varje år skulle det

finnas 1 miljon hektar gödslad skog om tio år och arealen gödslad skog skulle därefter stabiliseras. Kvävegödsling förväntas att leda till en genomsnittlig ökning av skogstillväxten med 1,5 kubikmeter per hektar och år, vilket motsvarar en ökad kolinlagring på 2,3 ton koldioxid per hektar och år.

Gödsling som metod för kolbindning har haft en betydande roll i norsk klimatpolicy efter att den stora ökningen i landets skogsvolym börjat stagnera. Norge har de senaste 80 åren dubblat sin stående skogsvolym, och ökningen mellan från 14 miljoner ton årligen 1990 till 31 miljoner ton 2010 motsvarar 78%. Enligt en rapport från 2010 av det norska ministeriet för klimat och miljö fann man dock en tendens till stagnering i stående volym från och med 2007 (Klima- og forurensningsdirektoratet, 2010). Den oroväckande trenden förklarades i rapporten som en konsekvens av skogens ålderskomposition. Att vända denna trend var målet för det som sedan skulle bli klimatkontroll 2020 programmet (Klif mfl., 2010). Gödsling tillsammans med andra skogliga åtgärder bedömdes öka den årliga kolbindningen med 12.3 miljoner ton CO₂ på längre sikt (50–100 år). Kvävegödsling ansågs vara den enda åtgärd som kan ge snabb effekt. Det norska klimat- och miljöministeriet (2018) gjorde bedömningen att upp till 10 000 hektar skogsmark kan gödglas varje år och detta skulle leda till en ökning av kolinlagring i skogen med cirka 0,27 miljoner ton koldioxid per år fram till år 2030. Under en tioårsperiod skulle kostnaden för dessa åtgärder ligga på mellan 13 och 190 NOK per ton CO₂ beroende på bonitet och områdeskvalitet.

Beslutet om subventionering av skogsgödsling sjösattes 2016 och var budgeterat till 9 miljoner NOK. År 2016 gödslades 8400 hektar skogsmark i Norge, detta är en kraftig ökning från 2015 års gödslade areal på 700 hektar.⁵ Enligt en rapport från Lantbruksdirektoratet från 2018 har tillskottet ökat den årliga koldioxidupptagningen med 21 000 ton/år. Ansökan om stöd skickas till kommunen efter att gödsling utförts. Skogsägare erbjuds en subvention på 40 % av kostnaden för implementering av gödslingspolicyn på utvalda områden. Utbetalningar sker från Jordbruksdepartementet för godkända ansökningar. Totalt avsätts 27 miljoner NOK per år för åtgärder kopplade till gödsling och tätare plantering, och det är inte troligt att efterfrågan överstiger detta.

⁵ <https://www.ssb.no/statbank/table/05543/tableViewLayout1/>

Gödsling skall utföras i enlighet med de riktlinjer som fastställdes i naturvårdsdepartementet (2014). I rapporten skrivs att gödsling kan utföras på vegetationstyper som björnbärsskog, ljungskog, blåbärsskog, ormbunksskog och på myrar givet att det finns etablerade hållbarhetsåtgärder. Gödsling kan enligt rapporten även utföras i tall- eller grandominerande produktionsskogar med relativt hög bonitet. Lavar skall utgöra mindre än 50 % av markarterna och ungskog bör prioriteras. Möjligtvis kan ung produktionsskog gödslas, men detta kräver att avverkning inte är planerad för de kommande tio åren. För att man ska kunna följa upp och utvärdera i efterhand kartläggs alla gödslade områden.

I rapporten specificeras de naturvärden som bör tas i beaktande vid gödsling. Gödsling skall inte utföras inom 10–15 meter från värdefulla naturvärden och inte heller inom 25 meter från sjöar, bäckar eller andra vattendrag med aktiv strömning året runt. Kvävegödsling skall inte utföras innan snön har smält bort, detta för att undvika läckage av näringsämnen. Gödsling skall ske med max 150 kg kväve per hektar. På gödslade områden kommer tillväxten att öka under en period av sex till tio år och avverkning skjuts fram tills gödslingseffekten upphört.

5.2 Förlängning av omloppstid

Förlängning av omloppstid är en åtgärd som används i flera länder för att öka kolsänkan i skogen (se t.ex. Foley et al. 2009, Ecotrust 2012). Val av omloppstid påverkar kolsänkan i skogen på olika sätt. Omloppstiden som maximerar skogens avkastningsvärde är vanligtvis kortare än den som maximerar den genomsnittliga årliga tillväxten.⁶ Det innebär att en måttlig ökning av omloppstiden skulle kunna leda till en högre genomsnittlig årlig tillväxt som i sin tur betyder större genomsnittligt årligt upptag av koldioxid från atmosfären. På lång sikt, när den årliga avverkningen är lika stor som den årliga tillväxten, innebär en måttlig förlängning av omloppstid en större volym levande biomassa. Långsiktigt leder det till ökad inlagring av kol i marken och en högre virkesproduktion, vilket ger större substitutionseffekter och ökad inlagring av kol i träprodukter. På kort sikt leder en förlängning av omloppstiden till en tillfällig minskning av virkesuttag och därmed ökning av kolsänka i skogen.

En annan effekt av förlängd omloppstid är att den koldioxid som binds i levande biomassa kommer att lagras i skogen under en längre tidsperiod. Att

⁶ I undantagsfall kan det vara det motsatta (se Binkley, 1987).

behålla upptaget kol i skogen under en längre tid är i och för sig bra, å andra sidan avtar skogens tillväxt mot slutet av omloppstiden om den blir för lång, vilket innebär minskat upptag av koldioxid från atmosfären. Förlängd omloppstid är också förknippad med högre risk att skogen förstörs, till exempel av skogsbränder, som ger stora utsläpp av koldioxid. Den sammanlagda effekten av förlängd omloppstid beror bland annat på hur mycket omloppstiden förlängs.

Potentiella klimateffekter av att förlänga omloppstiderna i Sverige har analyserats i ett antal studier (SOU 2020:4). Bland andra visar Lundmark et al. (2018) att den totala kolsänkan kan ökas med 0,1–0,2 miljoner ton koldioxid om omloppstiden ökas med tio år på en yta som omfattar 0,5 miljoner hektar. En annan studie (LUSTRA, 2008), som analyserade kolsänkeeffekten av ändrad omloppstid för granskog planterad år 2000 i Dalarna, visar att en ökning av omloppstiden med 20 % genererar en ökning av genomsnittlig kolinlagring med 13 % i trädbiomassa och 10 % i marken. Om omloppstiden istället förkortats med 20 % minskar kolinlagring i trädbiomassa med 50 % och kolinlagring i marken minskar med 10 %. Båda studierna indikerar att förlängning av omloppstid kan leda till större klimatnytta från skogen i Sverige.

Ett exempel på omfattande användning av förlängd omloppstid som metod för att motverka klimatförändringar är initiativet för permanent skogssänka, the Permanent Forest Sink Initiative (PFSI), som etablerades år 2006 i Nya Zeeland. Initiativet är en av de mekanismer som introducerats i landet för att uppfylla de krav som ställdes i samband med Kyotoprotokollet. PFSI bygger på att skogsägare gör ett frivilligt åtagande att dels inte avverka sin skog under en period av 99 år, dels implementera skogsskötselåtgärder som främjar kolinlagring i skogen. Som kompensation från staten får skogsägarna i gengäld kolkrediter som antingen kan användas för att kompensera egna utsläpp eller säljas till tredje part.

New Zealand Farm Forestry Association rapporterade om att 15 500 hektar skog hade allokaterats till PFSI fram till år 2015, vilket gett en ökad kolinlagring motsvarande 6,6 miljoner ton koldioxid sedan programmet startades år 2008.⁷ PFSI vänder sig inte enbart till privata enskilda skogsägare utan är minst lika attraktivt för kommuner, investerare och turistbyråer. Initiativets breda genomslagskraft kan enligt Nya Zealands

⁷ <https://www.nzffa.org.nz/farm-forestry-model/resource-centre/tree-grower-articles/november-2015/the-permanent-forest-sink-initiative-nine-years-on/>

Farm Forestry Association kopplas till dess holistiska syn på skogsskötsel och kolbindning. Man menar vidare att intresset initialt var fokuserat på ekonomiska faktorer, men att detta har utvecklats under senare år så att skogsskydd idag är den primära drivkraften bakom tecknandet av statliga kontrakt. Det som främst gör PFSI så attraktivt är dock kombinationen som gör att skogsägaren kan prioritera hållbara skogsskötselmetoder utan att behöva göra avkall på ekonomisk vinning (Leining och Kerr, 2018).

Nya Zeelands regering utvärderade PFSI och systemet för handel med utsläppsrätter mellan 2015 och 2018. Därefter beslöt regeringen att ersätta PFSI med en ny, permanent skogsåtgärd som innefattas i landets utsläppshandelsystem från och med den 1 januari 2023. Liksom i PFSI är enbart skogar som planterats efter år 1989 kvalificerade för den nya åtgärden, som kräver att skogen inte ska avverkas förrän tidigast 50 år efter att den har registrerats i utsläppshandelsystemet. Syftet med förändringen är att ge markägare starkare incitament till att öka kolinlagring i skogen genom att skjuta upp avverkning samt att minska de administrativa kostnaderna för både markägare och staten.

5.3 Återvätning av skogsmark

Grundvattennivån påverkar den potentiella kolbindningen i marken genom att en hög grundvattennivå begränsar nedbrytningshastigheten av organiskt material i marken. Nedbrytningsprocessen bromsas genom att vatten begränsar syretillförseln till marken. En hög grundvattennivå är därför en förutsättning för en långvarig kolinlagring i våtmarker. Trots en hög grundvattennivå kan dock våtmarker och torvmarker vara en betydande källa till utsläpp av växthusgaser genom läckage av metangas, som bildas vid nedbrytning av organiskt material under syrefattiga förhållanden. Trots att metanutsläppen är relativt små har de en betydande klimateffekt då metangas har 20 ggr större klimateffekt än koldioxid. En annan negativ konsekvens av en hög grundvattennivå är att skogsproduktionen både minskar och försvåras. För att öka skogsproduktionen har därför stora arealer våtmark och torvmark i Sverige under de senaste 200 åren dikats ur. Denna åtgärd ökar skogsproduktion och en ökad mängd trädbiomassa produceras på så sätt. Dock ökar nedbrytningstakten i marken och genom markoxidering avges koldioxid, vilket gör dikade torv- och våtmarker till en källa för växthusgasutsläpp, trots den ökade trädbiomassaproduktionen. Mänskliga åtgärder eller klimatförändringar kan alltså ha stor inverkan på våt- eller torvmarkers koldioxidupptag (LUSTRA, 2008). Naturvårdsverket

bedömer att det samlade utsläppet av växthusgaser från dikade torvmarker utgör ungefär 20 % av Sveriges totala klimatpåverkande utsläpp.⁸

Enligt Naturvårdsverket (2019) är återvätning av torv- och våtmarker en effektiv åtgärd för att minska koldioxidutsläppen, inte enbart på grund av de faktiska utsläppsminskningarna utan också på grund av de många positiva externa effekter som tillkommer, främst i form av biodiversitet. Enligt en uppskattning av Skogsstyrelsen (2019) har dikningsprocesser främst i södra Sverige ofta producerat små trädbiomassaökningar som inte har uppvägt ökningen i markoxidering. Detta beror i flera fall på att grundvattennivån inte sänkts tillräckligt genom dikningsåtgärderna. Skogsstyrelsen bedömer att återvätning av torv- och våtmark är en relativt säker klimatåtgärd på marker med ett minst 40 cm tjockt torvlager, belägna söder om norrlandsgränsen. Skogsstyrelsen anser därför att det finns anledning att i framtiden öka återvätningsåtgärderna. Den potentiella kvantitetsökningen av återvätningsåtgärder uppskattas till 100 000 hektar fram till 2050, vilket skulle resultera i en minskning av nettoutsläppen av växthusgaser med 1–9 ton koldioxidekvivalenter per hektar och år under en tidsperiod på 4–6 decennier, givet effektiva prioriteringar. Den initiala kostnaden av åtgärderna uppskattas utifrån Skogsstyrelsens och Jordbruksverkets bedömningar till mellan 100 och 700 kr per ton koldioxidekvivalenter, för att bekosta hantering och rådgivning samt ersättning för det förlorade markvärde som markägaren skulle erhålla. Skogsstyrelsen beräknar att inga ytterligare löpande kostnader är att vänta efter det att den initiala åtgärden utförts. Kostnaden per ton förhindrat koldioxidutsläpp beräknas till totalt 100 kr efter 40 år (SOU 2020:4).

Återvätning bidrar som åtgärd till flertalet nyttor, där reduktionen av koldioxidutsläpp kanske är den mest utmärkande. Det mesta av den bördiga torvmarken i Sverige har dikats ut under de senaste 200 åren och därför råder det idag brist på denna typ av våtmarker. Förklaringen till omfattningen av dikningsåtgärderna är främst ekonomisk lönsamhet (SOU 2020:4). En sänkt grundvattennivå gör att syretillförsel till rötterna ökar, vilket i sin tur gör att skogstillväxten ökar. Dikningsåtgärder är därför ett effektivt sätt att öka skogsproduktionen i ett område genom att en större mängd trädbiomassa produceras årligen. En långsiktig konsekvens av att tillväxten av trädbiomassa ökar är dock att det som tidigare varit en våtmark eller myr mer och mer övergår till att bli skogsmark. Detta leder till ett

⁸ www.naturvardsverket.se/upload/sa-mar-miljon/vatten/vatmark/6-minskad-klimatpaverkan.pdf

ekosystemskifte och att artsammansättningen i området förändras, vilket påverkarett områdes naturvärden (Kardell, 2010).

Givet de mål som etablerats för biologisk mångfald och övergödning finns det starka indikationer på att återvätning som åtgärd skulle vara positiv, eftersom återvätning i princip kan återskapa de ekosystem som existerat då området var en våtmark. Den höjda grundvattennivån skulle också ha positiva effekter på närliggande habitat och de arter som lever där, genom den ökade tillgången till vatten.

Frågan om hinder för implementering är främst ekonomiska. Eftersom dikningsåtgärder ger ökad skogsproduktion krävs en kompensation till skogsägare som jämförbar med den produktionsförlust som återvätning skulle innebära. Åtgärden måste med andra ord göras ekonomiskt lönsam med hjälp av statliga styrmedel.

Även om återvätningsåtgärder har bedömts att vara tämligen kostnadseffektiva (Naturvårdsverket, 2019) kan det finnas svårigheter med att snabbt genomföra sådana åtgärder i stor skala. Detta på grund av de stora investeringar som krävs. Olika områden kommer att kräva olika utformning och vissa platser kan på grund av hög tillväxt vara orealistiska att använda för detta ändamål. Det gäller till exempel stora delar av södra Sverige (SOU 2020:4).

6. Förslag till styrmedel

Huvudanledningen till att privata markägare inte vidtar åtgärder för att öka kolsänkan till en för samhället optimal nivå är att sådana åtgärder är olönsamma för markägaren. Det kan även hända att markägare saknar kunskap om, eller kapital för att finansiera, vissa åtgärder som är lönsamma. Då kan information och kunskapshöjande insatser, till exempel rådgivning och utbildning, eller hjälp till finansiering leda till att skogsägare väljer att genomföra åtgärder som ökar kolsänkan i skogen. Men information och kunskapshöjande insatser liksom hjälp till finansiering kan inte motivera skogsägare att öka kolsänkan till den samhällsekonomiskt optimala nivån. Problemet är att skogsägare bär hela kostnader för att vidta sådana åtgärder, men bara får en försumbar del av den nytta åtgärderna skapar. Utan statens ingripande har skogsägare små möjligheter att få några intäkter för ökning av inlagring av koldioxid i sin skog. Således kan incitament till att öka kolsänkan skapas genom att staten delar investeringskostnaderna med skogsägare eller möjliggör för skogsägare att få intäkter för ökad kolsänka.

Baserat på erfarenheter från andra länder och vetenskapliga studier föreslår vi tre alternativa styrmedel. Det första är ett ekonomiskt stöd för utvalda åtgärder, det andra är statliga köp av ökade kolsänkor från skogsägare genom omvänd auktion, och det tredje är utsläppshandel. Diskussionen om styrmedel fokuserar på fem potentiella åtgärder där det finns beräkningsunderlag: beskogning, energiskogsodling, förlängning av omloppstid, permanent skydd av skog och skogsgödsling. Det finns även flera andra potentiella åtgärder för ökad kolinlagring. Återvätning av näringsrik torvmark och skogsjordbruk anses vara två andra viktiga klimatåtgärder i Sverige. I SOU 2020:4 görs en ingående analys av potentiella effekter på nettoutsläpp av växthusgaser, kostnader samt förslag till styrmedel inriktat mot återvätning av torvmark och skogsjordbruk. Eftersom båda dessa åtgärder belysts tidigare tas de inte upp här.

6.1 Ekonomiskt stöd

Ekonomiskt stöd innebär minskade kostnader för skogsägare och kan därför motivera dem att genomföra kolsänkeökande åtgärder som skulle varit olönsamma utan stöd. Ur kostnadsdelningsperspektiv bör storleken på stödet i förhållande till åtgärdens totalkostnad motsvara fördelningen av den sammanlagda nyttan mellan skogsägare och samhället. Om en åtgärd förväntas att öka intäkterna för skogsägaren med 3 000 kr och värdet av ökad kolsänka är 2 000 kr, så kan det vara rimligt att stödja den åtgärden med 40 % av kostnaden. Om en åtgärd inte medför någon direkt nytta för skogsägaren bör hela kostnaden finansieras med hjälp av stöd från staten. För att vara lönsamt för samhället bör stöd endast ges när den sammanlagda

nyttan är större än kostnaden för att genomföra åtgärden. Att konstruera och implementera ett stödprogram enligt denna princip kräver information om kostnader och effekter på skogsägares intäkter, om olika åtgärders kolsänka samt om värdet av kolsänkan. Både skogsägarens kostnader och intäkter liksom kolinlagringseffekterna varierar stort mellan olika åtgärder, i hög grad beroende på tillståndet i skogen. I praktiken är dock ett schablonmässigt stöd att föredra på grund av bristen på information om den procentuella fördelningen av nyttan i varje enskilt fall. Nedan beskrivs våra förslag till schablonmässigt stöd för var och en av de olika åtgärderna.

Skogsgödsling – kvävegödsling på fastmark

Kostnaden per hektar för gödsling kan variera stort beroende på storlek, terrängförhållanden och geografiskt läge (avstånd till väg) för skogen som gödglas. Effekten av gödsling för skogens tillväxt beror på skogstillstånd vid gödslingstillfället, till exempel trädslagsblandning, markens egenskaper och produktivitet och täthet av beståndet (Jacobson och Hannerz, 2007). Det är mindre sannolikt att gödsling är lönsam på mindre fastigheter med högre kostnad per hektar gödslad skog. Ett vanligt hinder för att kunna gödsla skogen är att den gödslingsbara arealen på fastigheten är för stor för att man ska kunna sprida gödsel för hand, men för liten för att vara intressant för entreprenörer.⁷ Med hänsyn till dessa faktorer bör stöd till gödsling riktas antingen till skogsägare eller gödslingsentreprenörer.

Stöd till skogsägare: Ett fast belopp plus en viss andel av kostnader för gödsel och genomförande. Antaget att värdet av minskning i nettoutsläpp av växthusgaser är 1 200 kronor per ton koldioxidekvivalenter är rekommenderad stödnivå 60–80 % av gödslingskostnaderna.

Stöd till entreprenörer: Ett fast belopp per kontrakt som tar hänsyn till skogens avstånd till vägen, med mera, plus en viss andel av kostnaderna för gödsel och genomförande. Alternativt ett bidrag för att starta företag som erbjuder gödslings tjänster, alternativt ett statligt lån som avskrivs efter att ett visst antal hektar har gödslats.

Förlängning av omloppstid

En förlängning av omloppstiden innebär en kostnad för skogsägare i form av minskad vinst. Om vi utgår ifrån att skogsägare väljer den omloppstid som maximerar vinsten skulle en ersättning för minskad vinst kunna förmå skogsägare att välja längre omloppstider och därmed ökade kolsänkor. Kolinlagringseffekten av förlängd omloppstid, liksom effekten av gödsling påverkas av skogens tillstånd, men det finns ytterligare faktorer som bör beaktas vid utformningen av stödprogram inriktade på omloppstid. För det första är det omöjligt att veta den optimala omloppstiden för varje bestånd och hur mycket skogsägarens vinst minskar vid en förlängning av omloppstiden. Val av omloppstid är reglerat i skogsvårdslagen, och slutavverkning får ske först när skogen har uppnått en lägsta tillåten ålder (LTÅ). En majoritet av skogsägarna i Sverige värderar dock inte enbart sin

skog för dess virkesproduktion, och många av dem väljer redan en avverkningsålder som är betydligt högre än LTÅ. För det andra kan skogsägare av ekonomiska skäl avsiktligt öka uttaget av biomassa genom intensifierad gallring vilket minskar virkesförrådet i den senare fasen av omloppstiden. Det kan innebära att förlängd omloppstid inte resulterar i lika stor ökning av virkesförråd och kolförråd som det var tänkt. För det tredje riskerar en förlängning av omloppstiden att leda till en tillfällig minskning av virkesutbudet och därmed högre priser på virke. Det kan i sin tur öka gallringen i andra bestånd, vilket dels leder till minskad kolsänka i yngre skog, dels till att förnygringsavverkning sker tidigare på fastigheter utan bidrag och/eller att importen av skogsprodukter ökar. Man ska också ta med i beräkningen att skogstillväxten avtar med tiden då skogen har uppnått en viss ålder, liksom det faktum att avverkning ökar kolförrådet i träprodukter. Därför leder inte alltid längre omloppstid till större kolsänka totalt sett.

Förslag till ekonomiskt stöd för förlängda omloppstider:

- Stöd för förlängning av omloppstid ska vara proportionellt mot det antal år avverkningsåldern överstiger en referensålder.
- Rekommenderad referensålder är den medianomloppstid skogsägaren faktiskt har valt de senast omgångarna för respektive trädslag och bonitet.
- Krav på lägsta mängd virkesförråd vid ansökan.
- Stöd per hektar och år bör anpassas till bonitet och trädslag.

En förlängning av omloppstid innebär större virkesuttag och högre intäkter när skogen avverkas vid ett senare tillfälle. Om vi antar att avverkningsnettot är 300 kronor per kubikmeter avverkad volym och att en ökning av virkesproduktionen med 1 kubikmeter leder till en minskning av växthusgasutsläpp med 0,72–1,43 ton koldioxidekvivalenter, och med ett koldioxidpris på 1200 kr per ton. Då utgör klimatnyttan 75–85 % av det sammanlagda värdet av den ökade virkesproduktionen. Då är det rimligt att stödet till förlängning av omloppstiden motsvarar 75–85 % av kostnaden för åtgärden. För ett bestånd med ett virkesförråd på 250 kubikmeter per hektar blir kostnaden för en förlängning av omloppstiden 2 500–3 000 kronor per hektar och år, och det rekommenderade stödet cirka 2 000 kronor per hektar och år.

Beskogning och energiskogsodling

Beskogning, det vill säga anläggning av vanlig skog, och energiskogsodling på jordbruksmark är två likartade åtgärder och kan därför stödjas på likartat sätt. I princip ska stödet motsvara en viss andel av beskogningskostnaderna. Den andel av kostnaderna som genom stöd ska betalas av staten kan beräknas på olika sätt. Detta beroende på att åtgärderna medför ökad kolsänka under längre tidsperioder och med effekter som varierar över tid, medan merparten av intäkterna till markägaren realiserar först när skogen avverkas. Utredningen SOU 2020:4 använde i beräkningen ett

investeringsstöd på 7 000 kronor per hektar för energiskogsodling och 6 000 kronor per hektar för beskogning, men påpekade att stödets storlek bör utredas vidare. Oavsett stödbelopp rekommenderar vi att stöd betalas under flera års tid och att stödbeloppet differentieras mellan olika regioner, beroende på markens produktivitet.

Befintliga stöd för plantering av energiskog på jordbruksmark inkluderar gårdsstöd och stöd inom landsbygdsprogrammet. Stöd för beskogning med traditionella skogsträd saknas däremot. Vi har inte funnit några vetenskapliga studier som visar att energiskogsodling är en mer effektiv användning av jordbruksmark med avseende på kolbindning/-inlagring än traditionell beskogning. Tvärtom antyder utredningens bedömning (SOU 2020:4, Tabell 6.1, s. 186) att plantering av traditionella skogsträd har markant högre potential för ökad kolsänka på längre sikt jämfört med plantering av energiskog. Energiskog växer visserligen snabbare i början, men beskogning kommer i slutänden att bygga upp ett större kolförråd. Den mycket längre omloppstiden för traditionella skogsträd innebär att kol som lagras i skogen under den tidiga fasen av omloppstiden kommer att stå i skogen under en lång period. Dessutom kommer en del av kolet i stamveden att fortsätta att lagras i träprodukter efter avverkning. Om det visar sig att beskogning är ett mer effektivt sätt att öka kolsänka i jordbruksmark än energiskogsodling, bör man tänka över om den senare bör stimuleras genom ekonomiskt stöd.

I SOU 2020:4 (s. 805) påpekas att: ”Beskogning bedöms under alla omständigheter vara en lönsam åtgärd för markägaren, eftersom kunskapen är god om vilken typ av beskogning som passar i olika situationer. Icke desto mindre kan ett stöd behövas för att beskogning ska bli intressant för markägare. Rapportförfattarnas hypotes är att brist på kapital kan vara en viktig faktor som begränsar investering i beskogning. Om hypotesen håller är statlig hjälp med lån ett tänkbart styrmedel, det vill säga att staten ger lån eller lånegarantier till markägare, plus eventuell subvention på räntekostnader.

Permanent skydd av skog

Ekonomiska analyser visar att det vid ett högt koldioxidpris kan vara optimalt att aldrig avverka vissa skogar; den omloppstid som maximerar de sammanlagda värdena av kolinlagring och virkesproduktion kan vara oändligt långa, särskild för skog på mindre produktiv mark. Resultaten ger anledning att tro att avsättning av en del skog kan vara en effektiv åtgärd för att öka skogens kolinlagringsnytta. Till detta skapas samhällsnytta genom bevarad biologisk mångfald och rekreationsvärden. Dessa analyser baseras på antagandet att virkespriset ligger konstant på dagens nivå. När avverkningen stoppas i en betydande del av skogen kommer dock virkespriset att stiga. Detta för att permanent skydd av skogen innebär bortfall av virkesproduktion i en del skog. En direkt konsekvens av detta är ett minskat utbud av och högre priser på virke. Ökar virkespriserna

minskar sannolikheten för att avsättning ska kunna vara en samhällsekonomiskt effektiv åtgärd för minskade växthusgasutsläpp. Dessutom ger ett högre virkespris incitament till ökad avverkning i andra områden och en ökad import. Med andra ord kommer en del av den ökade kolsänkan i skyddade skogar att ätas upp av minskad kolsänka i andra skogar. En sammanställning av tidigare publicerade skattningar av sådant kolläckage varierar från 5 % till 95 % beroende på skattningsmetoder och policysammanhang (Henders och Ostwald, 2012).

Enligt skogsvårdslagen får inte avverkning, skogsvårdsåtgärder och gödsling ske på skogliga impediment, skogsmark med mycket låg produktivitet, vilka omfattar 4 miljoner hektar i Sverige. Arealen av formellt skyddad produktiv skogsmark är 1,4 miljoner hektar. Därutöver har markägare frivilligt avsatt 1,2 miljoner hektar produktiv skogsmark för bevarande av naturvärden, kulturmiljöer eller sociala värden. SLU:s analys från 2017 visar att en ökning av avsatt produktiv skogsmark med 3,8 miljoner hektar skulle kunna öka kolsänkan i skogen med 17 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år på kort sikt (0–50 år). Ökningen av kolsänkan är betydligt lägre på lång sikt (50–100 år). Den ligger då på 7 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Effekten en minskad avverkning, till följd av att mer skog undantas från virkesproduktion, har på kolsänka i träprodukter ingår inte i beräkningen.

Den ökade avsättningen skulle på kort sikt minska avverkningen med 15 miljoner kubikmeter per år och på lång sikt med 20 miljoner m³ per år. I en annan analys (SLU, 2019) som täcker perioden 2021–2025, antogs en ökad avsättning med drygt 4,5 miljoner hektar. Det skulle öka kolsänkan i skogen med 17,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år, medan den i träprodukter skulle minska med 3,8 miljoner ton. Nettoeffekten blir en ökning av kolsänkan med 13,6 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Båda analyserna antar att den ökade avsättningen inte påverkar avverkningen i de skogar som fortsatt brukas för virkesproduktion, därför bortser den från eventuella kolläckage av avsättningen. För att fastställa hur stor effekten av kolläckage är, och därmed klimatnyttan av att avsätta mer produktiv skogsmark oavsett ändamål, krävs mer analys. Om det visar sig att avsättning är en kostnadseffektiv åtgärd för att öka kolsänkan kan befintliga program för formellt skydd av skog utökas till att även omfatta kolinlagringsvärdet.

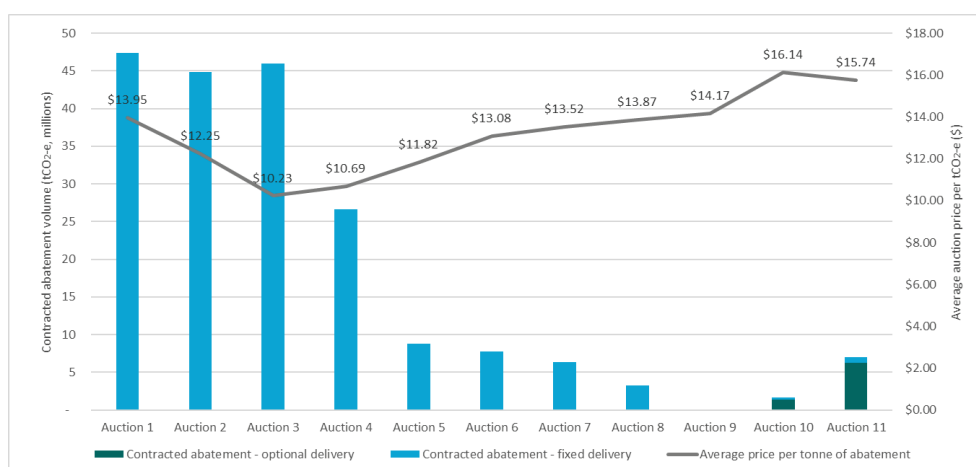
6.2 Statliga köp av ökad kolsänka genom omvänd auktion

De förslag som presenteras i avsnitt 4.1 syftar till att ge markägare incitament att vidta åtgärder som bedöms kunna medföra ökade kolsänkor. Staten bestämmer vilka åtgärder som ska uppmuntras och hur starka incitament som ska ges för respektive åtgärd. För varje åtgärd kan både kostnader och påverkan på kolsänka variera stort mellan olika marker. Styrmedel leder inte sällan till att markägare väljer mindre kostnadseffektiva

åtgärder om de med stöd inräknat, ger större intäkter. Denna ineffektivitet kan elimineras genom att ge incitament för ökad kolsänka, istället för att koppla det till genomförande av vissa åtgärder. Ett styrmedel som är baserat på mängden uppnådd kolsänkeökning ger markägaren frihet att välja mellan olika åtgärder för att uppnå detta. Det ligger då i varje markägares egenintresse att välja de mest kostnadseffektiva åtgärderna för att uppnå den önskade ökningen av kolsänkan.

Det styrmedel vi föreslår är en så kallad omvänd auktion, en typ av auktion med en köpare och flera säljare. Skogsägare som är intresserade av att öka kolsänkan i sin skog får konkurrera med varandra om ersättning från staten via budgivning. Skogsägare får lämna anbud till auktionen, till exempel för när och hur mycket kolsänka man erbjuder, vilka åtgärder man tänker vidta för att uppnå detta, med mera. Staten gör en bedömning av kostnader per enhet kolsänka, möjligen även av andra aspekter, och väljer vilka bud som ska beviljas. Därefter upprättar staten kontrakt med de skogsägare som vinner budgivningen. Skogsägarna genomför de planerade åtgärderna och får betalt för ökad kolsänka.

I Australien är omvänd auktion ett viktigt politiskt instrument för att minska utsläpp av växthusgaser och öka kolsänkan. Sedan april 2015 har elva auktioner genomförts och den tolfte auktionen påbörjades i mars 2021. Figur 1 visar de avtalade volymerna nettoutsläppsminskning och genomsnittspris från de första elva auktionerna. Några viktiga punkter om auktionerna i Australien är att (a) auktionen omfattar både projekt inriktade på att minska utsläpp och sådana som syftar till att öka kolsänkan; (b) vilka projekt och åtgärder som är kvalificerade för auktionen regleras av metoddokument som specificerar krav och restriktioner för olika åtgärder och metod för att beräkna kolsänka; (c) vid auktionen väljs projekt ut enbart baserat på begärt pris per ton koldioxidkvivalenter och (d) betalningen sker när utsläppsminskningen eller ökningen av kolsänka har verifierats, i vissa enskilda fall med möjlighet till begränsad förskottsbetalning.



Figur 1. Avtalade volymer nettoutsläppsminskning och genomsnittspris vid auktioner genomförda av Australiens utsläppsminskingsfond.⁸

6.3 Utsläppshandel

Omvänd auktion, enligt beskrivning ovan, är ett handelsavtal mellan staten och markägare om kolinlagringstjänster i skogen. De kan utvidgas till att även omfatta andra aktörer, till exempel företag i andra sektorer, organisationer och privatpersoner, som vill kompensera sina utsläpp med ökad kolsänka eller bidra till att minska nettoutsläppen av växthusgaser. En utvidgad handel möjliggör ytterligare effektivisering av insatserna för att minska utsläppen av växthusgaser och kan därmed leda till att minska de totala kostnaderna för att uppnå det nationella målet om nettonollutsläpp. En annan fördel av utvidgning av handeln är att den ökar möjligheterna för ideella organisationer och privatpersoner att bidra till utsläppsminskning. Dessa aktörers deltagande i handeln kommer att bidra till att säkerställa finansieringen. Ett sätt för staten att inkludera andra aktörer i handeln är att sälja inköpta koldioxidkrediter vidare till företag, organisationer, och privatpersoner. Ett alternativ är att staten belönar skogsägare med koldioxidkrediter för ökade kolsänkor och tillåter skogsägare att sälja intjänade koldioxidkrediter till en tredje part.

7. Utvärdering av förslaget

7.1 Bedömning av potentiella effekter på kolsänka – måluppfyllelse

Oavsett vilka styrmedel som tillämpas är markägarens respons osäker. Det här avsnittet redovisar och diskuterar uppskattade effekter på kolsänka av givna förändringar med hjälp av olika åtgärder. Resultaten kan tolkas som potentiell effekt av föreslagna styrmedel, det vill säga hur stor påverkan kolsänkan kommer att ha under olika tidsperioder, om styrmedlen uppnår de avsedda förändringarna i termer av skogsbruksåtgärder. Åtgärder som analyseras i den här rapporten är gödning, förlängda omloppstider, beskogning och energiskogsodling. Tabell 1 sammanfattar de underliggande antagandena för analyserna av de potentiella effekterna av olika aktiviteter.

Tabell 1. Antaganden vid analys av potentiell ökning av kolsänka för olika åtgärder.

Åtgärd	Antaganden
Gödning	Gödning sker 10 år före slutavverkning. Den årliga gödslade arealen ökar med 50 000 hektar.
Omloppstid 1	Omloppstiden förlängs med 5 år på sammanlagt 3,75 miljoner hektar skog.
Omloppstid 2	Omloppstiden förlängs med 20 år på sammanlagt 0,25 miljoner hektar skog.
Beskogning 1	10 000 hektar jordbruksmark planteras med gran varje år under den kommande 10-årsperioden. Sammanlagt kommer 100 000 hektar mark att beskogas. De planterade skogarna kommer att avverkas vid 60 års ålder.
Beskogning 2	10 000 hektar jordbruksmark planteras med gran varje år under den kommande 10-årsperioden. Sammanlagt kommer 100 000 hektar mark att beskogas. De planterade skogarna kommer inte att avverkas.
Energiskog	Energiskogsodlingen ökar med 8 000 hektar per år under de kommande 5 åren, 2 000 hektar med salix och 6 000 hektar med hybridasp.

Skogsstyrelsens bedömning är att 100 000 hektar skogsmark är lämplig för gödning per år. Den faktiskt gödslade arealen har de senaste åren dock bara legat på omkring 30 000 hektar per år. Dessutom finns det små ytor som inte kan gödglas av teknisk-praktiska skäl. Vi antar därför att arealen årligen gödglad skogsmark ökar med 50 000 hektar. Skogen gödglas tio år före slutavverkning. Det ökar tillväxten med 1,5 kubikmeter per hektar och år

och ökar andelen timmer med 5 %, vilket innebär ett ökat kolförråd i form av träprodukter.

Effekten av förlängd omloppstid analyseras i två scenarier. I scenariot Omloppstid 1 förlängs omloppstiden med fem år på 3,75 miljoner hektar skog, vilket motsvarar 18 % av den produktiva skogsmark som brukas för virkesproduktion. Medelproduktiviteten sätts till 5,5 m³ per hektar och år och den nuvarande omloppstiden är 75 år. Skogen är jämnt fördelad över olika åldrar, från 1 till 75 år. Omloppstiden förlängs genom att slutavverkningen skjuts upp med fem år, och därefter avverkas årligen all skog som uppnått 80 års ålder. I scenariot Omloppstid 2 uppskjuts varje år avverkning av 10 000 hektar skog som uppnår den ursprungliga omloppstiden med rotationsåldern med 20 år.

Analys av åtgärden Energiskog utgår från att energiskogsodlingen ökar med 40 000 hektar (se SOU 2020:4), varav 10 000 hektar planteras med salix och 30 000 hektar med hybridasp och poppel. Ökningen sker successivt under fem år: 20 % av den totala arealen planteras varje år. Omloppstiden är fem år för salix och 25 år för hybridasp och poppel. I beräkningen antar vi att medelproduktionen är 7 ton (torrsubstans) biomassa och 20 m³ per hektar och år för salix respektive hybridasp och poppel.

Antaganden i analys om beskogning är att 10 000 hektar nedlagd jordbruksmark planteras med gran varje år under en 10-årsperiod. Sammanlagt kommer alltså 100 000 hektar att beskogas.

Medelproduktionen antas vara 12 m³ per hektar. I scenariot Beskogning 1 antar vi att gallring sker vid 25 respektive 40 års ålder, att skogen avverkas vid 60 års ålder och att ny skog planteras efter avverkning. I scenariot Beskogning 2 får inte slutavverkning ske, men en tredje gallring genomförs vid 60 års ålder. I beräkningen för båda scenarierna ingår kolförråd i levande biomassa, mark och träprodukter.

Tabell 2. Uppskattade effekter på kolsänka av olika åtgärder i olika perioder mätt i miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Negativa värden betyder att kolsänkan minskar.

Åtgärd	Perioder								Summa
	2021–2030	2031–2040	2041–2050	2051–2060	2061–2070	2071–2080	2081–2090	2091–2100	
Gödsling	0,52	0,59	0,52	0,47	0,43	0,40	0,37	0,34	36,41
Omloppstid 1	7,64	0,47	-0,43	-1,17	-0,15	-1,37	-1,51	-1,50	19,72
Omloppstid 2	3,08	3,86	2,36	-0,22	-0,77	-0,16	0,11	0,97	92,35
Beskogning 1	0,12	0,64	1,19	1,67	1,49	1,80	-2,67	0,39	46,34
Beskogning 2	0,12	0,64	1,19	1,67	1,49	2,22	1,90	1,62	108,55
Energiskog	0,38	1,04	-1,05	0,71	0,68	-1,30	0,93	-1,03	3,57

Effekten på kolsänkan av respektive åtgärd skattas som förändringar av kolförråd i levande biomassa, mark och träprodukter, där enbart sågat virke är inkluderat. Resultatet från beräkningarna i tabell 2 visar att kolsänkan i skog och träprodukter efter en ökning av årligen gödslad skog med 50 000 hektar skulle öka med 36,41 miljoner ton koldioxidekvivalenter under perioden 2021–2100. Den uppskattade årliga ökningen i kolsänkan varierar mellan 0,34 och 0,59 miljoner ton koldioxidekvivalenter. En förlängning av omloppstiden kan ge en stor och omedelbar ökning av kolsänkan, men effekten avtar med tiden och blir negativ i senare tidsperioder. Både den totala kolsänkeökningen under perioden 2021–2100 och den årliga variationen i effekt beror på hur omloppstiden förlängs. Som förväntat ökar effekten av beskogning på kolsänkan med tiden under de första decennierna, då den nyplanterade skogen växer snabbare. Gallring kommer att genomföras när skogen uppnår vissa åldrar, vilket leder till mer långvarig ökning av kolsänkan. Hur beskogningen påverkar kolsänkan längre in i framtiden beror på om skogen avverkas eller inte. Jämfört med energiskogsodling leder dock beskogning till en betydligt mer långvarig ökning av kolsänkan. Detta eftersom ett mycket större kolförråd kan byggas upp i granskog än i energiskog med salix eller hybridasp/poppel.

Anledningen till att vissa åtgärder leder till minskad kolsänka i skogen beror på att de innebär ett ökat uttag av biomassa från skogen längre fram i tiden. Det är viktigt att understryka att även om avverkning minskar kolförrådet i skogen, kan virke och biomassa från skogen ersätta fossila bränslen och andra råvaror, såsom stål och cement, och därmed minska utsläppen i andra sektorer. För att undvika dubbelräkning är sådana substitutionseffekter inte inräknade i vår kalkyl.

Tabell 3. Sammanlagd effekt på kolsänka av olika kombinationer av åtgärder mätt i miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Negativa värden betyder att kolsänkan minskar.

Åtgärder	Perioder								Summa
	2021–2030	2031–2040	2041–2050	2051–2060	2061–2070	2071–2080	2081–2090	2091–2100	
(G+O1+B1+E) ^a	8,66	2,74	0,23	1,68	2,45	-0,48	-2,88	-1,80	106,05
(G+O2+B2+E) ^b	4,10	6,13	3,02	2,63	1,84	1,15	3,31	1,91	240,88

- Från Tabell 1. Gödsling + förlängd omloppstid (alternative 1) + beskogning (alternativ 1) + energiskogsodling.
- Från Tabell 1. Gödsling + förlängd omloppstid (alternative 2) + beskogning (alternativ 2) + energiskogsodling.

Ovannämnda åtgärder vidtas normalt på olika typer av mark.⁹ Tabell 3 visar den sammanlagda effekten på kolsänkan för två olika uppsättningar av åtgärder. Variant a) omfattar en ökning av årligen gödslad skogsareal med

50 000 hektar och förlängning av omloppstiden med fem år på sammanlagt 3,75 miljoner hektar skog. Vidare ska 100 000 hektar jordbruksmark planteras årligen under de kommande tio åren, och energiskogsodling dessutom ökas med 40 000 hektar, varav 10 000 hektar med salix och 30 000 hektar med hybridasp, under de kommande fem åren. Variant b) innehåller också den åtgärden gödsling, förlängning av omloppstid, beskogning och energiskogsodling. Skillnaden mot variant a) är att det i denna variant inte sker någon slutavverkning i granskog planterad på jordbruksmark och att omloppstiden förlängs med 20 år på sammanlagt 0,25 miljoner hektar skog.

Tabell 3 visar att åtgärderna i variant b) skulle leda till en både större och mer stabil ökning av kolsänkan i skog och träprodukter under perioden 2021–2100 jämfört med variant a). Med åtgärderna i variant a) kan kolsänkan i skogen ökas med 4,1 miljoner ton koldioxidekvivalenter årligen fram till år 2030, och 6,35 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år 2031–2045. I analysen har vi antagit att beskogning av 100 000 hektar mark genomförs under de kommande tio åren. Kolsänkeökningen i variant b) kan uppnås genom att man ändrar takten för beskogning och schemat för förlängd omloppstid.

7.2 Kostnadseffektivitet av olika åtgärder

I den här delen analyseras olika åtgärders kostnadseffektivitet där kostnaden mäts i kronor per ton koldioxidekvivalenter. I kalkylerna som presenteras nedan ingår den ökning av kolsänka som åstadkommit genom åtgärderna. Kostnaderna är uppskattade till skillnaden mellan nuvärdet av kostnaderna för att vidta en åtgärd och nuvärdet av de eventuella intäkter åtgärden skapar. Kalkylräntan i nuvärdesberäkningarna är i samtliga fall satt till 3,5 %.

Gödsling: Med en genomsnittlig tillväxtökning på 1,5 kubikmeter per hektar och år är gödsling tio år före slutavverkningen lönsam med en gödslingskostnad på upp till 5 000 kronor per hektar. Då är kostnaderna för ökad kolsänka genom gödsling noll. Kostnaderna för ökad kolsänka minskar när gödslingseffekten på skogens tillväxt blir större, och ökar med kostnaderna för gödslingen. Tabell 4 visar de uppskattade kostnaderna för några olika scenarier.

Tabell 4. Kostnader för ökad kolsänka genom skogsgödsling, mätt i kronor per ton koldioxidekvivalenter.

	Gödslingskostnader (kronor per ha)			
Tillväxtökning (m ³ per ha och år)	5500	6000	6500	7000
1	21,53	80,31	139,09	197,86

1,5	16,76	62,52	108,28	154,04
2	13,72	51,18	88,65	126,11

Tillväxteffekten av gödsling påverkas av tillståndet i skogen (Jacobson, 2020) medan kostnaderna för gödsling beror på skogens storlek och geografiska läge. Det innebär att kostnadseffektiviteten för ekonomiskt stöd till skogsgödsling kan variera kraftigt, beroende både på den totala skogsarealens omfattning och valet av skogar.

Förlängning av omloppstid: Att förlänga omloppstiden med ett visst antal år kan ses som att skogen skyddas under en bestämd tid. Om omloppstiden för en skog förlängs till oändligt lång kommer skogen aldrig att avverkas. Kostnaden för att skydda skogen i all evighet är lika med värdet av virket i skogen plus markvärdet, det vill säga nuvärdet av framtida omloppstider om skogen hade fortsatt brukas för virkesproduktion. Åtgärdens kolsänkande effekt är lika med den minskade kolavgång som skulle ha skett om skogen avverkats plus skogens framtida koldioxidupptagning, minus den koldioxidupptagning en nyplanterad skog skulle ha bidragit med om den befintliga skogen hade avverkats.

Exempel: En skog i 75-årsåldern som skulle avverkas nu, undantas istället från virkesproduktion och avverkas aldrig. Vi antar att virkesförrådet är 275 m³ per hektar och markvärdet är 500 kronor per hektar. Kostnaden för att skydda denna skog är 83 000 kronor per hektar. Anta att skogen fortsätter att årligen ta upp 8 ton koldioxid per hektar under 20 år och därefter ta upp noll ton. Den totala effekten blir då cirka 410 ton koldioxid., det vill säga cirka 250 ton i form av minskad avgång, efter justering för kol lagrat i träprodukter, plus 160 ton från tillkommande upptagning. Räknar man på den totala effekten blir kostnaden per ton koldioxid 200 kronor. Om skogen istället avverkas vid 75 års ålder kommer en yngre skog att planteras på marken. Nettoupptagningen av koldioxid i den nya skogen kan vara negativ under en kortare period, men blir så småningom positiv och ökar därefter med tiden (Bergh, Egnell och Lundmark, 2020). Den beräknade kostnaden för ökad kolsänka genom att undanta den avverkningsmogna skogen i detta exempel kan alltså vara lägre eller betydligt högre än 200 kronor per ton koldioxid, beroende på hur lång tidsperiod kalkylen omfattar.

När omloppstiden förlängs med ett bestämt antal år blir kostnadskalkylen för kolsänkans ökning mer invecklad. Utöver de faktorer som nämnts ovan bör den kolavgång som sker vid avverkning av skogen när den uppnår den förlängda omloppstiden också ingå i kalkylen.

Skillnaden mellan förlängning av omloppstiden respektive undantag från virkesproduktion illustreras i ovanstående exempel. Om omloppstiden förlängs med 20 år, det vill säga att avverkning av skogen inte sker nu utan först 20 år senare, medför det en omgående ökning (minskad avgång) av kolförrådet i skogen motsvarande 284 ton koldioxid. Samtidigt blir

kolförrådet i träprodukter 34 ton mindre jämfört med om omloppstiden inte förlängs. Skogen kommer då att uppta 160 ton koldioxid under de 20 åren som kvarstår innan den avverkas. Den mängden kol som då tas ut motsvarar 390 ton koldioxid, varav 70 ton i form av träprodukter. Samtidigt måste man dock avstå från att plantera en ny skog på samma mark under 20 års tid, vilket innebär förlorad kolinlagring på 35 ton. Vinsten av att förlänga omloppstid i detta fall blir en ökning av kolsänka på $284 - 34 + 160 - 390 + 70 - 35 = 55$ ton koldioxid. Kostnaden för skillnaden mellan nuvärdet av att avverka skogen nu respektive 20 år senare är, med en kalkylränta på 3,5 %, 24 900 kronor. Kostnaden för att öka kolsänkan genom att förlänga omloppstiden med 20 år är alltså 450 kronor per ton koldioxid.

En annan beräkningsmetod är att skatta förändringar i kolförråden i skog och träprodukter för respektive alternativen under en given tidsperiod, att avverka nu respektive först om 20 år. Om skogen avverkas nu blir kolförrådet i skogen: $- 284 + 35 = 249$ ton koldioxid mindre och kolförråd i träprodukter 34 ton större om 20 år. Att avverka skogen idag minskar kolförråden med sammanlagt 215 ton koldioxid under en 20-årsperiod. Om omloppstiden istället förlängs och avverkning sker först om 20 år, är den motsvarade minskningen i kolförråden: $- 390 + 160 + 70 = 160$ ton koldioxid. Med andra ord minskar avverkningen kolsänkan, men med en förlängd omloppstid blir minskningen mindre.

För skogen i exemplet är kostnaden 400 kronor per ton koldioxid om omloppstiden förlängs med 15 år, och 320 kronor per ton koldioxid med fem års förlängning av omloppstiden.

Energiskogsodling med salix: Jordbruksverkets kalkyler baserade på 2018 års priser visar att nettoresultatet för salixodling under en 22-årsperiod ligger mellan 0 och 1000 kronor per hektar och år, beroende på odlingsstrategi och skördenivå (Rosenqvist, 2019). Salixodling ger en ökad kolsänka på 188 ton koldioxidekvivalenter per hektar under 22 års tid. Med en markkostnad på 1 500 kronor per hektar och år och en ränta på 3,5 % blir kostnaden för kolsänkeökningen 120–160 kronor per ton koldioxidekvivalenter. Om markkostnaden ligger på 3 500 kronor per hektar och år¹⁰ blir kostnaden för kolsänkeökningen 280–320 kronor per ton koldioxid ekvivalenter, med en ränta som ovan.

Plantering av hybridasp: Vi antar att plantering av hybridasp syftar till att producera enbart träbränsle, och vidare att priset för skogsflis från hybridasp är det samma som priset för salix, 770 kronor per ton torrsubstans, och att kostnaden för skörd är 500 kronor per ton torrsubstans. Nettonuvärdet av energiskogsodling med hybridasp blir då cirka 3 500 kronor per hektar och omloppstid. Nuvärdet av alternativkostnaden för marken, 1 500 kronor per hektar och år, är 24 722 kronor per hektar. Om kolsänkeökningen under en omloppstid uppskattas till 176 ton koldioxidekvivalenter blir kostnaden för kolsänkan 120 kronor per ton

koldioxidekvivalenter. Kalkyler för både salix och hybridasp utgår från att 20 % av arealen årligen återplanteras⁹.

Beskogning: Flera tidigare studier har visat att beskogning av jordbruksmark är en lönsam investering (se t.ex. Eriksson, 2011). För exemplet i föregående avsnitt skulle nettonuvärdet av beskogning med gran bli 9 700 kronor per hektar vid en omloppstid på 60 år. Att plantera gran på nedlagd jordbruksmark innebär ingen markkostnad, och då är kostnaden för att öka kolsänkan noll. Om beskogning sker på mark som annars används för jordbruksproduktion behöver markkostnad ingå i kalkylen. Vi antar att markkostnaden är 1 500 kronor per hektar och år. Kostnaden per ton koldioxidekvivalenter blir då 96 kronor. Detta förutsätter att beskogningen genomförs under en 10-årsperiod och att den planterade skogen avverkas vid 60 års ålder. Kostnaden per ton koldioxidekvivalenter blir ca 55 kronor om skogen planteras enbart för inlagring av kol och aldrig avverkas. I det senare fallet lagras en större mängd kol i skogen, men intäkter från avverkning uteblir.

Tabell 5. Kostnader för ökad kolsänka med olika åtgärder, mätt i kronor per ton koldioxidekvivalenter.

Åtgärder	Kostnader
Gödsling	0–200
Skydd av skog	200
Förlängning av omloppstid (5–20 år)	320–450
Energiskogsodling	120–320
Beskogning	0–96

⁹ Förklaring av kalkylen:

- Nettonuvärdet av energiskogsodling med hybridasp: Planteringskostnader: 17 500 kr/hektar
- Skördar per hektar: 36,88 ton torrs substans genom gallring år 15, 132 ton torrs substans vid slutavverkning år 25.
- Ränta: 3,5%
- Biomassapris: 770 kr/ton torrs substans
- Kostnader för skörd: 500 kr/ton torrs substans
- Nettonuvärdet av energiskogsodling = $(770-500) \cdot 36,88 / (1,035^{15}) + (770-500) \cdot 132 / (1,035^{25}) - 17500 = 3524$ kr/hektar
- Alternativkostnaden för marken är 1 500 kronor per hektar och år. Nuvärdet av alternativkostnaden för marken under en omloppstid på 25 år blir $24\,722$ kronor per hektar = $1\,500 / 1,035^1 + 1\,500 / 1,035^2 + 1\,500 / 1,035^3 + \dots + 1\,500 / 1,035^{25} = 24\,722$
- Kostnaden för kolsänkan = (Nuvärdet av alternativkostnaden för marken - Nettonuvärdet av energiskogsodling) / ökning i kolsänkan = $(24\,722 - 3524) / 176 = 120,44$ kr per ton CO₂.

Beräkningarna visar att beskogning och energiskogsodling på jordbruksmark är mer kostnadseffektivt än åtgärder inriktade på existerande skog, och att gödsling medför en betydlig lägre kostnad för att öka kolsänkor jämfört med förlängning av omloppstider eller skydd av skog (se tabell 4). Det är värt att notera att skydd av skog, det vill säga att undanta skog från virkesproduktion, är en mer kostnadseffektiv åtgärd än förlängning av omloppstider. Jämförelsen av olika åtgärders kostnadseffektivitet bör dock tolkas med försiktighet. Varje åtgärd påverkar kolsänkan under en lång tidsperiod och effekten varierar med tiden.

Det finns dessutom olika sätt att kvantifiera en åtgärds totala effekt på kolsänkan (Richards och Stokes, 2004) och den beräknade kostnadseffektiviteten av en åtgärd kan variera beroende på vilken metod man använder sig av i kalkylen. I ovanstående beräkningar uppskattade vi effekten av varje åtgärd på förändringen av kolförråd i skog respektive träprodukter under en begränsad tidsperiod, som är olika för de olika åtgärderna. Om beräkningen istället bygger på effekten på kolsänka under en och samma tidsperiod för samtliga åtgärder skulle resultaten se annorlunda ut. Beräkningar som omfattar olika långa tidsperioder kan leda till olika slutsatser om åtgärdernas kostnadseffektivitet. Vi har i vårt exempel inte heller tagit hänsyn till hur snabbt kolsänkan ökar – en ökning idag kan innebära en större klimatnytta än en lika stor ökning längre fram i tiden. Denna aspekt påverkar också kostnadseffektiviteten.

7.3 Kostnadseffektiva styrmedel

Tillämpning av styrmedel som ger markägare incitament för att vidta kolsänkeökande åtgärder medför administrationskostnader, och styrmedlets utformning påverkar dess effekt på kolsänkan. För att öka ett styrmedels kostnadseffektivitet bör flera faktorer beaktas vid utformning, inklusive additionalitet, osäkerhet, varaktighet och läckage (Gren och Aklilu, 2016).

Kostnader för att genomföra en viss åtgärd, liksom dess effekt på kolbindning kan variera kraftigt från fall till fall på grund av skillnader i skogstillstånd, geografiskt läge med mera. Myndigheter som hanterar styrmedel brukar inte ha exakt information om kostnader för varje enskilt fall. Det gör det svårt att bedöma om incitament verkligen behövs i varje specifikt fall, och om markägaren skulle vidta åtgärden utan kompensation för koldioxidbindning. I praktiken går det inte att helt utesluta att incitament i onödan ges till vissa markägare. Det finns alltid en risk att kompensation betalas ut för koldioxidbindning som skulle ha skett även utan kompensation. Om man kan minska denna risk ökar givetvis styrmedlets kostnadseffektivitet. Att tänka på additionalitet vid policydesign är därför viktigt: hur ska styrmedel utformas för att öka sannolikheten att det verkligen leder till ökad koldioxidbindningen jämfört med situationen utan styrmedel? Ytterligare en fråga i det här sammanhanget är hur styrmedel ska

utformas för att öka sannolikheten för att åtgärden vidtas på den mark där den största ökningen av koldioxidbindning kan uppnås.

Den kolsänkande effekten av ett styrmedel är osäker av två skäl. För det första vet man inte med säkerhet hur markägarna reagerar på styrmedlet, vilket innebär att ökningen av kolsänkan beror på hur många och vilka markägare som ändrar sitt beteende. För det andra varierar effekten i princip av alla åtgärder beroende på skogens tillstånd och markens egenskaper. Samtidigt påverkas effekterna av oförutsägbara faktorer, såsom väderförhållande, insektsangrepp, storm och skogsbrand. Hur ska styrmedlen utformas för att minska osäkerheten i effekt på kolsänkan?

Vid formuleringen av policyer som syftar till att öka kolsänkan i skogen strävar man efter varaktig kolinlagring – koldioxid som binds i träd och mark ska vara kvar där antingen under en bestämd tid eller så länge som möjligt (Gren och Aklilu, 2016). Bortsett från risken att skogen blir förstörd av händelser som storm, skogsbrand och så vidare beror varaktigheten av kolinlagringen i skog i hög grad på hur styrmedlet är konstruerat. Valet av tidsrymd för kolinlagringen i skogen, som ska vara varaktig, är dock ofta mer eller mindre godtyckligt (Thamo och Pannell, 2016).

I tabell 6 sammanfattas relevansen för ovan nämnda faktorer för utformning av styrmedel inriktade på olika åtgärder. Problemet med additionalitet uppstår vid utformning av styrmedel inriktade på gödsling, energiskogsodling och beskogning eftersom dessa åtgärder är lönsamma för markägare under vissa förhållanden och då kan genomföras utan styrmedel. För att öka additionaliteten är det nödvändigt att identifiera omständigheter då åtgärderna inte är lönsamma för markägare, och därefter upprätta tydliga villkor för när åtgärder kan beviljas ekonomiskt stöd eller ingå i omvända auktioner.

Tabell 6. Relevans för additionalitet, osäkerhet, varaktighet och läckage i utformning av styrmedel inriktade på olika åtgärder.

Åtgärder	Additionalitet	Osäkerhet	Varaktighet	Läckage
Gödsling	X	X	X	
Skydd av skog	X	X	X	X
Förlängning av omloppstider	X	X	X	X
Energiskogsodling	X	X	X	
Beskogning	X	X	X	

Frågan om additionalitet är betydligt svårare att hantera vid förlängning av omloppstid då val av omloppstid i hög grad beror på skogsägarens värdering av skogen i andra hänseenden. Det saknas pålitliga metoder för att uppskatta värdet för en enskild person av sådana nyttigheter som rekreation,

biodiversitet och så vidare. Dessutom finns det många inaktiva skogsägare som inte avverkar alla bestånd som har passerat den optimala avverkningsåldern. Detta gör det svårt att bedöma vilka omloppstider skogsägaren skulle välja om inga styrmedel införs. Ett enkelt sätt att öka additionaliteten vid utformningen av styrmedel som syftar till att förlänga omloppstiden är att välja en lång referensomloppstid. En längre referensomloppstid innebär dock att kompensationen till skogsägaren blir lägre, vilket minskar intresset hos skogsägare att förlänga omloppstiden. Dessa två effekter behöver balanseras vid valet av referensomloppstid. Ett pragmatiskt sätt är att fastställa referensomloppstid utifrån de omloppstider som en majoritet av skogsägarna har valt.

Osäkerhet i markägarnas respons på styrmedel uppstår på grund av brist på information både om kostnaderna för att genomföra olika åtgärder och om markägarens preferenser och värderingar. Denna osäkerhet kan i viss mån minskas genom att man undersöker markägarnas attityder till olika styrmedel och anpassar styrmedlen efter det. Osäkerheten vad gäller åtgärdernas effekt på själva kolsänkan är däremot ofrånkomlig. Metoder som använts i praktisk policyutformning (Gren och Aklilu, 2016) påverkar inte osäkerheten i sig, utan handlar främst om ansvarsfördelning mellan staten och markägaren, det vill säga vem som får ta konsekvenserna av osäkerheten. Med resultatbaserade styrmedel, där kompensationen är proportionell till den realiserade ökningen av kolinlagring, ligger det i markägarens intresse att se till att vidtagna åtgärder leder till en så hög kolsänkeökning som möjligt. Det finns risk för att markägaren åsidosätter effekten på kolsänkan när kompensationen är kopplad till genomförande av en åtgärd. Den risken kan minimeras genom att ställa tydliga krav på och noggrant kontrollera kvaliteten i genomförda åtgärder. Vidare innebär förlängd omloppstid större risk för skogsskador på grund av stormar, skogsbrand, insektsangrepp med mera, den effekten är dock liten på övergripande nivå. Historiskt sett är risken för skogsbränder i Sverige låg (Sjöström och Granström, 2020). Insektsangrepp minskar skogstillväxten och koldioxidupptaget men medför sällan en minskning av kolförråden i skogen.

Kolsänkeökningens varaktighet kan bedömas utifrån förändringen av kolförrådet i ett begränsat område där en viss åtgärd implementeras, eller som förändring av den totala mängd kol som lagras i hela skogen och i träprodukter. Avseende kolförrådet på en specifik markyta kan man konstatera att permanent skydd av skog kan leda till en varaktig ökning av kolförrådet på den skyddade marken. Kolsänkeökning till följd av beskogning kan också betraktas som varaktig, beroende på hur lång lagringstid som anses vara varaktig och om den planterade skogen får avverkas eller inte. Det är svårt att argumentera för att skogsgödsling, energiskogsodling, eller förlängning av omloppstid medför en varaktig ökning av kolförrådet på den aktuella markytan. Men åtgärderna kan

resultera i ökade kolförråd i ett landskapsperspektiv så länge åtgärderna fortsätter att implementeras.

Med avseende på den totala mängden av kol som lagras i hela skogen och i träprodukter blir slutsatsen annorlunda. Ta skogsgödsling som exempel. Att gödsla ett skogsbestånd tio år före slutavverkning innebär att kolsänkeökningen i beståndet kommer att hålla endast i tio årstid. Sedan avverkas beståndet, varvid man tar ut en stor del av det inlagrade kolet och låter det återgå till atmosfären. Samtidigt kommer andra bestånd att ha nått gödslingsbar ålder. Det betyder att gödsla kommer att genomföras i andra bestånd, vilket medför ökning av kolinlagringen i andra delar av skogen. Om 50 000 hektar skog gödslas årligen och gödslingen ökar skogstillväxten med 1,5 m³ per hektar och år kommer virkesförrådet i skogen att öka med 3,375 miljoner m³. Det innebär en hållbar ökning av kolförråd i skogen motsvarande cirka 5 miljoner ton koldioxid. Dessutom leder gödsla till en större avverkningsvolym vilket ökar kolförrådet i träprodukter.

Om vi antar att 20 % av avverkat virke omvandlas till träprodukter, med en medellivslängd på 30 år, då skulle skogsgödsling omfattande 50 000 hektar per år kunna öka kolförrådet i långlivade träprodukter med motsvarande 6,5 miljoner ton koldioxid. Skogsgödsling kan med andra ord leda till en varaktigt ökad kolsänka, trots att effekten av åtgärden på varje specifik skogsyta bara kvarstår under en begränsad tid. Därför anser rapportförfattarna att varaktighet av kolsänkeökning bör beaktas ur ett systemperspektiv. Det viktiga är att se till att styrmedlen leder till en hållbar ökning av de sammanlagda kolförråden i skog och i träprodukter, snarare än att uppnå en varaktig kolsänkeökning på projektnivå.

Som nämndes i kapitel 4 kan permanent skydd av skog och förlängning av omloppstid leda till en signifikant ökning av avverkningen i andra delar av skogen med minskad kolsänka till följd. På grund av kolläckage kan nettoeffekten av dessa åtgärder vara betydligt lägre än de direkta kolsänkande effekterna i de skogsområden där åtgärderna genomförs. Beskogning, energiskogsodling och skogsgödsling medför generellt inget kolläckage. Tvärtom, beskogning och gödsla ökar virkesutbudet längre fram i tiden, vilket betyder lägre virkespriser och som i sin tur leder till mindre avverkning och därmed större kolsänka i andra delar av skogen. Energiskogsodling bidrar till att minska efterfrågan på energived och grot (grenar och trädtoppar), vilket också medför minskat koluttag från skogen.

Ett flertal metoder används i praktiken för att kvantifiera läckageeffekten (Henders och Ostwald, 2012). En enkel metod är att reducera en åtgärds direkta effekt på kolsänkan med en viss procent. En mer kvalificerad metod är att uppskatta förändringen av avverkning och skötsel i alla delar av skogen med hjälp av en skogssektorsmodell. För att minska läckaget av en åtgärd är det nödvändigt att reducera incitamenten för att öka avverkningen i andra delar av skogen. Med andra ord bör effekten av ökade virkespriser

reduceras. Ett potentiellt styrmedel för att uppnå detta är att beskatta de koldioxidutsläpp som uppstår till följd av skogsavverkning. Hur det ska utformas är dock svårare att se. Skogsägare får inte betalt för allt kol som inlagras i deras skogar. Det är orimligt att kräva att skogsägare ska skatta för alla koldioxidutsläpp som uppstår till följd av skogsavverkning. Dessutom skulle skatt på utsläppen från skogsavverkning minska lönsamheten av investeringar i skogsbruket, och därigenom motverka styrmedel inriktade på ökad skogstillväxt. En omfattande analys behöver göras för att bedöma vilken nettoeffekt en koldioxidskatt på skogsavverkning skulle ha på klimatnyttan.

7.4 Genomförbarhet i praktiken

Sverige har en lång tradition av att främja utvecklingen av skogssektorn med hjälp av ekonomiskt stöd till ”sådana åtgärder som från samhällets synpunkt är angelägna men som för skogsägaren ger avkastning i en förhållandevis avlägsen framtid” (Skogsstyrelsen, 1991). Fram till slut av 1990 talet omfattar det bland annat återväxtåtgärder efter avverkning av gles och dålig skog, kompletterande återväxtåtgärder och skogsodling på nedlagd jordbruksmark. Stöden till detta finansierades med skogsvårdsavgiften, som utgjorde 0,8 % av skogsbruksvärdet, taxeringsvärdet för produktiv skogsmark i en skogsfastighet. Under perioden 1985/86–1989/90 var rambeloppet för statligt stöd till skogsvård cirka 200 miljoner kronor per år, motsvarande 450 miljoner kronor i dagens penningvärde. Skogsvårdsavgiften avskaffades 1992/93 och det statliga stödet till de flesta skogsvårdsåtgärderna avvecklades.

Rapportförfattarnas bedömning är att det finns goda förutsättningar för att snabbt implementera förslaget om att öka kolsänkan i skogen med hjälp av ekonomiskt stöd till utvalda åtgärder. Det är fullt möjligt att anpassa systemet så att åtgärder för att öka kolsänkan i skogen stöds – skogsvårdsavgiften kan ersättas med en utsläppsavgift eller en skatt på uttag av virke och biomassa från skogen, som sedan ges tillbaka till skogsägaren för att genomföra sådana åtgärder som förväntas leda till ökad kolsänka i skogen. En utsläppsavgift eller skatt bidrar inte bara till att säkra finansieringen av stöd till kolsänkeökande åtgärder, den ger också skogsägaren incitament till att öka permanenten av kolsänkeökningen och minska kolläckaget.

I samband med köp av ökad kolsänka genom omvänd auktion behövs standardiserade metoder för beskattning, redovisning och verifiering av den kolsänkeökning som följer av olika åtgärder. Det behövs också metoder för att justera den uppskattade kolsänkeökningen avseende additionalitet, osäkerhet, varaktighet och läckage. En nödvändig förutsättning för att kunna öka kostnadseffektiviteten av omvända auktioner för projekt med syfte att öka kolsänkan i skogen är tillgång till lämpliga metoder för koldioxidredovisning. Det skulle eventuellt kunna ta lite tid att bygga upp

den infrastruktur som behövs för att genomföra statliga inköp av ökad kolsänka genom omvänd auktion om inget liknande system redan finns på plats.

Utsläppshandel kan betraktas som en utvidgning av omvända auktioner, genom att handeln även omfattar företag, organisationer och privatpersoner som köpare av kolkrediter, vilka uppstår när en åtgärd för ökad kolsänka vidtas. I kapitel 4 nämns två möjliga vägar för att inkludera andra aktörer i utsläppshandeln: staten kan sälja inköpta koldioxidkrediter vidare till företag, organisationer, och privatpersoner, eller belöna skogsägaren med koldioxidkrediter för ökad kolsänka samt tillåta skogsägarna att sälja intjänade koldioxidkrediter till tredje part. Oavsett hur utsläppshandeln går till är det nödvändigt att ha lämpliga metoder för kvantifiering av de kolsänkeökningar som de skogliga åtgärderna ger. För att möjliggöra fullskalig utsläppshandel är det dessutom nödvändig att man tillåter företag att kompensera sina utsläpp genom ökad kolsänka i skogen. Det kan dock krävas en ändring i Sveriges klimatpolitiska ramverk för att åstadkomma detta.

8. Konsekvensanalys

Samtliga åtgärder utom skogsgödsling som analyseras i den här rapporten behandlas i den klimatpolitiska vägvalsutredningen (SOU 2020:4) som också innehåller en konsekvensanalys. Utredningens huvudförslag för att minska utsläppen från och öka kolsänkan inom LULUCF-sektorn inkluderar etablering av fånggrödor, energiskogsodling, skogsjordbruk (agroforestry), beskogning och återvätning av dränerad torvmark. Utredningen bedömer att åtgärderna är kostnadseffektiva och kan leda till minskning av utsläpp och ökning av kolinlagring på sammanlagt 1,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år till år 2030 och 2,7 miljoner ton per år till år 2045 (se tabell 6). För att realisera den uppskattade klimatnyttan behöver rådgivningen inom jord- och skogsbruk intensifieras samtidigt som tillräckliga incitament tillgängliggörs för dessa åtgärder. Kostnaden för att införa de föreslagna styrmedlen uppskattas till 455 miljoner kronor per år, varav 220 miljoner kronor skulle vara bidrag till mellan- respektive fånggrödor. Förslaget bedöms (i) ha låga makroekonomiska effekter, (ii) skapa förutsättning för ökad produktion av energigrödor och biomassa som kan användas som råvara för olika ändamål, till exempel djurfoder och bioenergi, och (iii) ha olika effekter på biologisk mångfald.

Vår analys visar att skogsgödsling och förlängd omloppstid skulle ge snabbare och större kolsänkeökning fram till 2045 jämfört med åtgärderna i utredningens huvudförslag. En grov uppskattning av det ekonomiska stöd som behövs för att öka den årligen gödslade skogsarealen med 50 000 hektar ligger på 100–150 miljoner kronor per år. Att omgående förlänga omloppstiden med fem år på drygt 18 %, 3,75 miljoner hektar, av den brukade skogen i Sverige skulle kräva ett ekonomiskt stöd på 50 miljoner kronor per år. För att uppnå en förlängning av omloppstiden med 20 år på 250 000 hektar skog skulle det behövas ett årligt ekonomiskt stöd på 100 miljoner kronor. Kostnaderna för offentlig finansiering med syfte att öka arealen skyddad skog blir mycket högre. Till exempel skulle en genomsnittlig ersättning på 50 000 kronor per hektar till skogsägare för att undanta skogen från virkesproduktion¹¹ ge en kostnad på 10 miljarder kronor för skydd av 200 000 hektar skog. Med en räntesats på 3,5 % motsvarar denna kostnad 350 miljoner kronor per år. En grov uppskattning av det ekonomiska stöd som behövs för att öka energiskogsodling med 40 000 hektar är 60 miljoner kronor per år. Stöd till beskogning ligger på 50–130 miljoner kronor per år, beroende på om den planterade skogen ska avverkas eller inte.

Skogsgödsling ger ett ökat virkesuttag vid avverkning av skogen. Det gynnar inte bara den traditionella skogsindustrin, som sågverk och massa-

och pappersbruk, utan även bioenergiproduktion eftersom biprodukter som bark, spån med mera från skogsindustrin utgör mer än hälften av den totala produktionen av skogsbränsle.¹² Förlängning av omloppstid innebär en tillfällig minskning av virkesutbudet och påverkar därför skogsindustrin negativt på kort sikt.

En måttlig förlängning av omloppstiden kommer att öka virkesproduktionen på längre sikt, vilket innebär mer och billigare råvara till skogsindustrin och större potential till ökad bioenergiproduktion, medan en kraftig förlängning av omloppstiden har motsatt effekt. Att ensidigt öka arealen skyddad skog kommer att ha negativa effekter på skogsindustrin och bioenergiproduktion på både kort och lång sikt. Å andra sidan skulle de negativa effekterna på skogsindustrin minska om en ökad areal skyddad skog kombineras med tillväxthöjande åtgärder.

Miljöeffekter av skogsgödning har utretts i ett flertal studier. Huvudslutsatsen är att skogsgödning inte påtagligt försvårar möjligheterna att nå väsentliga miljömål med anknytning till skogsmark (Skogsstyrelsen, 2018). Skydd av skog bidrar alldeles uppenbart till bevarande av biologisk mångfald och andra natur- och kulturvärden i skogen. Förlängning av omloppstid har också positiva effekter på biologisk mångfald även om effekterna förmodligen är små.

Tabell 6. Bedömd realiserbar potential för de åtgärder som föreslås i den klimatpolitiska vägvalsutredningen inom LULUCF-sektorn – den areella omfattningen i hektar av respektive åtgärd och ökad kolsänka/minskade utsläpp i miljoner ton koldioxidekvivalenter per år.

		2030		2040		2045	
		Areal	Ökad kolsänka	Areal	Ökad kolsänka	Areal	Ökad kolsänka
Fånggrödor		300 000	0,4	400 000	0,5	400 000	0,5
Energiskog		40 000	0,1	40 000	0,1	40 000	0,1
Beskogning	Direkt	100 000	0,1	100 000	0,4	100 000	0,8
	Passiv	50 000	0,04	50 000	0,1	50 000	0,2
Agroforestry		50 000	0,03	50 000	0,06	50 000	0,1
Återvätning	Skogsmark	50 000	0,4	100 000	0,8	100 000	0,8
	Åkermark	5 000	0,1	10 000	0,2	10 000	0,2
Totalt			1,2		2,2		2,7

9. Slutsatser och rekommendationer

Sveriges klimatmål är att minska nettoutsläppen av växthusgaser till noll senast år 2045. Målet ska uppnås genom att minska utsläppen av växthusgaser från svenskt territorium, exklusive utsläpp och upptag från LULUCF-sektorn, med minst 85 % jämfört med utsläppen år 1990. Resterande minskning, upp till 15 %, ska uppnås genom kompletterande åtgärder såsom upptag av koldioxid i skog och mark genom ytterligare åtgärder som är additionella, alltså utöver de åtgärder som redan genomförs.

I denna rapport undersöks potentiella styrmedel för att öka upptag och lagring av kol i skogen och i skogsprodukter. Rapporten omfattar tre styrmedel: ekonomiskt stöd, betalning för ekosystemtjänster i form av statliga köp av kolsänka från markägare samt utsläppshandel. Det senare för att ge markägare incitament att genomföra följande åtgärder: skogsgödsling, beskogning, energiskogsodling och förlängning av omloppstid. Baserat på tidigare utredningar (Skogsstyrelsen 2018, SLU 2017 och SOU 2020:4) antogs att arealen gödslad skog kan ökas med 50 000 hektar per år, och att tillgänglig mark för beskogning och energiskogsodling är 100 000 hektar respektive 40 000 hektar. Angående förlängning av omloppstid har två scenarier analyserats. I det första scenariot förlängs omloppstiden med fem år på 3,75 miljoner hektar skog och i det andra med 20 år på 250 000 hektar skog.

Kostnaden för att öka inlagring av kol i skogen och i skogsprodukter genom ovannämnda åtgärder beräknas till 0–450 kronor per ton koldioxidekvivalenter. Effekten av åtgärderna på kolsänkan varierar med tiden. I synnerhet innebär förlängning av omloppstid en omedelbart ökad kolsänka, men metoden kan periodvis leda till kraftig minskning av kolsänka längre fram i tiden. Vår beräkning visar att gödsling, förlängning av omloppstid med 20 år på 250 000 hektar skog, beskogning och energiskogsodling tillsammans kan öka kolsänkan i skogen med 3,46–5,93 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år fram till år 2045. Det motsvarar 6,5–11,2 % av dagens utsläpp i Sverige, på cirka 53 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år, eller 30–55 % av den totala minskning genom kompletterande åtgärder för utsläpp av växthusgaser som får användas för att nå nettonollutsläpp år 2045. Effekten av dessa åtgärder uppskattas att år 2046–2100 ge en ökning av kolsänkan på 1,57–2,53 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år.

Utifrån resultaten dra vi slutsatsen att det finns flera kostnadseffektiva åtgärder som kan leda till en betydande ökning av koldioxidupptag i skog

och mark, men att det behövs incitament för att markägarna ska välja att vidta dessa åtgärder. Idag stöds återvätning av dikade torvmarker genom den lokala naturvårdssatsningen (LONA), Skogsstyrelsens återvätningssavtal och markägare kan söka ekonomiskt stöd för energiskogsodling från Landsbygdsprogrammet. Nya styrmedel behövs för att öka upptaget av koldioxid i skogen genom andra åtgärder.

Tre tänkbara styrmedel för att öka upptag av koldioxid i skogen är ekonomiskt stöd till genomförande av utvalda skogliga åtgärder, statligt inköp av ökade kolsänkor i skogen via omvänd auktion och utsläppshandel, det vill säga handel med kolkrediter skapade genom skogliga åtgärder. Ekonomiskt stöd kan snabbt införas för att uppmuntra markägare att vidta åtgärder som förväntas öka kolsänkan i sin skog. Jämfört med ekonomiskt stöd kan både omvänd auktion och utsläppshandel leda till mer kostnadseffektiva ökning av kolsänkan i skogen. Idag finns dock inte alla nödvändiga förutsättningar på plats för att genomföra vare sig omvänd auktionering eller handel med kolkrediter skapade genom skogliga åtgärder.

Författarna till denna rapport rekommenderar att staten inför ekonomiskt stöd för att öka omfattningen av skogsgödsling och beskogning på nedlagd jordbruksmark, och samtidigt satsa på att skapa förutsättningar och infrastruktur för att genomföra både omvända auktioner och handel med kolkrediter. Effekterna av ekonomiskt stöd till förlängning av omloppstider och permanent skydd av skog på kolsänkan i skogen är dock osäkra på grund av risken för kolläckage. En måttlig förlängning av omloppstiden kommer att öka virkesproduktionen på längre sikt, vilket innebär mer och billigare råvara till skogsindustrin och större potential till ökad bioenergiproduktion, medan en kraftig förlängning av omloppstiden har motsatt effekt. Att ensidigt öka arealen skyddad skog kommer att ha negativa effekter på skogsindustrin och bioenergiproduktion på både kort och lång sikt. Å andra sidan skulle de negativa effekterna på skogsindustrin minska om en ökad areal skyddad skog kombineras med tillväxthöjande åtgärder. Utformning av styrmedel inriktade på dessa åtgärder behöver utredas vidare.

Det finns flera andra möjliga åtgärder som kan ha potential att bidra till att öka upptag av koldioxid i skogen: ökning av andel löv- och blandskog, hyggesfritt skogsbruk, andra åtgärder för att öka skogstillväxt utöver kvävegödsling samt åtgärder för att minska skador på skog. Även för dessa behövs ytterligare analyser avseende kostnadseffektivitet och behov av styrning och utformning av styrmedel. Den ytterligare uppföljning i form av mer forskning/utredning vi rekommenderar inkluderar:

- Strategi för hållbar ökning av kolsänkan i skogen och träprodukter. Inlagring av kol i skogen och träprodukter behövs inte bara för att minska Sveriges nettoutsläpp av växthusgaser till noll fram till 2045 utan även för

att uppnå negativa utsläpp därefter. I tidigare arbeten om utformning av styrmedel inriktade på skogliga klimatåtgärder har mycket uppmärksamhet ägnats åt att öka varaktigheten av kolsänkor i enskilda skogar. Så länge skogsavverkning inte upphör helt är det orealistiskt att sträva efter en varaktig ökning av kolförråden i varje bestånd. Däremot är det möjligt att sköta skogen på ett sätt så att mer kol upptas och lagras i skogen i ett landskapsperspektiv samt i avverkade träprodukter. Mer analys krävs dock för att ta fram en strategi för att åstadkomma en långsiktig ökning av kolsänkan i skogen och i träprodukter på nationell nivå.

- De effekter skogliga åtgärder har på möjligheten att minska utsläpp inom andra sektorer genom användning av skoglig biomassa. Genomförande av åtgärder som syftar till att öka kolsänkan i skogen påverkar produktionen av virke och biomassa, vilket i sin tur påverkar möjligheten att ersätta fossila bränslen och andra produkter vars produktion medför stora utsläpp av växthusgaser. Vissa skogliga åtgärder kan leda till ett tillfälligt minskat uttag av virke och biomassa. Det är därför viktigt att skatta vilka effekter styrmedel inriktade på skogliga klimatåtgärder har på utsläpp inom andra sektorer.

10. Källhänvisning

Bergh, J., Egnell, G. och Lundmark, T. (2020). *Skogens kolbalans och klimatet*. Skogsskötselserien kapitel 21, Skogsstyrelsen.

Binkley, C.S. (1987). "When is the optimal economic rotation longer than the rotation of maximum sustained yield?". *Journal of Environmental Economics and Management*, 14(2), s.152–158.

Ecotrust. (2012). *Methodology for Improved Forest Management Through Extension of Rotation Age (IFM ERA)*. Approved VCS Methodology VM0003.

Eriksson, L., Bohlin, F., Hörnfeldt, R., Johansson, T. och Lindhagen, A. (2011). *Skog på jordbruksmark: erfarenheter från de senaste decennierna*. Rapport nr 17, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens produkter, Uppsala.

Felton, A., Sonesson, J., Nilsson, U. m.fl. (2017). *Varying rotation lengths in northern production forests: Implications for habitats provided by retention and production trees*. Ambio.

Foley, T.G., Richter, D. och Galik C.S. (2009). "Extending rotation age for carbon sequestration: A cross-protocol comparison of North American forest offsets". *Forest Ecology and Management* 259: 201–209.

Gren, M. och Aklilu, A. Z. (2016). "Policy design for forest carbon sequestration: A review of the literature". *Forest Policy and Economics*, 70:128–136.

Guo, J. och Gong, P. (2017). "The potential and cost of increasing forest carbon sequestration in Sweden". *Journal of Forest Economics*, 29:78–86.

Henders, S. och Ostwald, M. (2012). "Forest carbon leakage quantification methods and their suitability for assessing leakage in REDD". *Forests*, 3:33–58.

Jacobson, S. (2020). *Tillväxteffekter efter skogsgödsling med kväve: Validering av befintligt prognosinstrument*. Arbetsrapport 1040-2020, Skogforsk.

Jacobson, S. och Hannerz, M. (2007). *Gödslingskalkyl: räkna med skogsgödsling i Kunskap Direkt*. Resultat nr 11, 2007. Skogforsk.

Kardell, L. (2010). *Effekter av dikning och gödsling i sumpskog 1978–2009*. Rapport 110, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård.

Klima- og forurensningsdirektoratet (2010). *Klimakur 2020: Tiltak og virkemidler for å nå norske klimamål mot 2020*. TA-2590. 15.03.2010. www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2590/ta2590.pdf

Leining, C. och Kerr, S. (2018). *A guide to the New Zealand emissions trading scheme*. Motu Economic and Public Policy Research.

Lundmark, T., Poudel, B.C., Stål, G., Nordin, A. och Sonesson, J. (2018). "Carbon balance in production forestry in relation to rotation length". *Canadian journal of forest research*, 48(6), s. 672–678.

LUSTRA (2008). Så kan skogsbrynet påverka. MISTRA – Stiftelsen för miljöstrategisk Forskning.

Miljodirektoriatet (2014). Målrettet gjödsling av skog som klimatiltak. Rapport M174/2014. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M174/M174.pdf>.

Naturvårdsverket (2018). *Skydd av natur med ersättningsmark: Genomförande och resultat av ESAB-projektet*. Rapport 6837, juni 2018.

Naturvårdsverket (2019). *FU Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019: Med förslag till regeringen från myndigheter i samverkan*.

Norwegian Ministry of Climate and Environment (2018). *Norway's seventh national communication on national circumstances, policies and measures related to climate change under the Framework Convention on Climate Change*.

Richards, K.R. och Stokes, C. (2004). A review of forest carbon sequestration cost studies: a dozen years of research. *Climatic change*, 63(1-2), 1-48

Rosenqvist, H. (2019). *Kalkyler för energigrödor 2019*, Jordbruksverket. (<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ovr513.html>)

Sjöström, J. och Granström, A. (2020). *Skogsbränder och gräsbränder i Sverige: Trender och mönster under senare decennier*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, MSB1536, april 2020.

Skogforsk (2019). *Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan: Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid*. Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala.

Skogsstyrelsen (1991). *Skosstatistisk årsbok 1991*. Jönköping.

Skogsstyrelsen (2018). *Produktionshöjande åtgärder: Rapport från samverkansprocess skogsproduktion*. Rapport 2018/1, Skogsstyrelsen.

Skogsstyrelsen (2019). *Sammanfattning av kunskapsläget kring klimatpåverkan av dikning respektive återvätning av skogsmark (inkl övergiven jordbruksmark)*. Skogsstyrelsen diarienummer 2018/5027.

SLU (2017): *Sammanställning av åtgärder inom LULUCF sektorn tillsammans med uppskattning av effekter av ett par av åtgärderna*. Redovisning av Naturvårdsverkets uppdrag nr 2251-16-005.

SLU (2019): *Scenarier för den svenska skogen och skogsmarkens utsläpp och upptag av växthusgaser*. Slutredovisning av regeringsuppdrag (N208/01213/SK).

Sohngen B. and Brown, S. Measuring leakage from carbon projects in open economies: a stop timber harvesting project in Bolivia as a case study. *Canadian Journal of Forest Research*. 34(4): 829-839.
<https://doi.org/10.1139/x03-249>

Sohngen, B. och Brown, S. (2004). "Measuring leakage from carbon projects in open economies: a stop timber harvesting project in Bolivia as a case study". *Canadian Journal of Forest Research*, 34(4), s. 829–839.

SOU (2020:4). *Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen*. Stockholm, 2020.

SOU (2020:73). *Stärkt äganderätt, flexibla skyddsformer och naturvård i skogen*. Stockholm, 2020.

Thamo, T. och Pannell, D.J. (2016). "Challenges in developing effective policy for soil carbon sequestration: perspectives on additionality, leakage, and permanence". *Climate Policy*, 16(8), s. 973–992.

Rapporten uttrycker nödvändigtvis inte Naturvårdsverkets ställningstagande. Författaren svarar själv för innehållet och anges vid referens till rapporten.

Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn

Kolsänkor innebär att det sker en nettokolnlagring i skogen. Kolsänkor kan öka genom åtgärder som ökar tillväxten alternativt minskar förlusten av kol genom minskad avverkning eller naturlig nedbrytning. Rapporten har valt att fokusera på följande åtgärder: kvävegödsling av skogsmark, beskogning av nedlagd jordbruksmark, energiskogsodling, förlängning av omloppstid och permanent skydd av skog. Åtgärder för ökad kolsänka kan ha både positiva och negativa effekter på andra delar av samhället såsom skogsproduktion, biologisk mångfald och livsmedelssäkerhet.

För att åtgärder för ökad kolsänka i skogen ska komma till stånd krävs incitament för aktörerna på marknaden, framförallt skogsägare, som leder till att de väljer att bruka sin skog på ett alternativt sätt. Idag saknas till stor del direkta incitament för att binda in mer koldioxid i skogen. Det leder till att de flesta skogsägare inte prioriterar skogsbrukets effekter på kolförråden i skogen. En konsekvens av detta är att nettoin-lagringen av kol i skogen är lägre än vad som är optimalt ur ett samhällsperspektiv.

Denna rapport fokuserar på att lösa problemet med avsaknaden av incitament för att öka kolsänkorna i skogen och hur man bäst utformar styrmedel utifrån givna kriterier. Rapporten analyserar och jämför direkta stöd, omvända auktioner och utsläppshandel som styrmedel och landar i att omvända auktioner kan vara det bästa alternativet på lite längre sikt.

Förstärkta kolsänkor kan vara en kostnadseffektiv klimatåtgärd, och ett komplement till andra tekniska lösningar för negativa utsläpp. Kolsänkor och andra negativa utsläpp kan dock aldrig ersätta utsläppsminskningar i övriga sektorer som nyttjar fossila bränslen eller där fossila utsläpp idag är en biprodukt i produktionsprocessen.