



LUND UNIVERSITY

Skogens klimatnytta 2.0 – Klimatomställning nästa

Rummukainen, Markku

2024

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Rummukainen, M. (2024). *Skogens klimatnytta 2.0 – Klimatomställning nästa*. (CSC Syntes; Nr 8). Centre for Environmental and Climate Research (CEC), Lund University.

Total number of authors:
1

Creative Commons License:
Ospecificerad

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Skogens klimatnytta 2.0

Klimatomställning nästa

MARKKU RUMMUKAINEN | CENTRUM FÖR MILJÖ- OCH KLIMATVETENSKAP
CEC SYNTES NR 8 | 2024



Skogens klimatnytta 2.0

Klimatomställning nästa

Markku Rummukainen



LUNDS
UNIVERSITET

CEC Syntes nr 8
Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet 2024

Skogens klimatnytta 2.0 – Klimatomställning nästa

(Denna rapport ingår som nr 8 i serien CEC Synteser.)

Nyckelord: skog, klimatnytta, kolsänka, substitution, markanvändning, LULUCF, skogsnäring, skogsbruk.

Citera som: Rummukainen, M. (2024) Skogens klimatnytta 2.0 – klimatomställning nästa. CEC Syntes nr 8. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.

Beställ från:

Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Sölvegatan 37
223 62 Lund
www.cec.lu.se/kontakt

Utgiven av Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden. Innehållet återspeglar inte nödvändigtvis Lunds universitets officiella ståndpunkt.

ISBN 978-91-987132-6-8 (pdf)

Omslagsbild: IStockphoto/Micke Andersson

Layout: Media-Tryck



Media-Tryck är ett svanen-
märkt tryckeri. Läs mer
om vårt miljöarbete på
www.mediatryck.lu.se

MADE IN SWEDEN 

Innehåll

Sammanfattning.....	4
1. Inledning.....	6
2. Hur står det till i skogen?	10
3. Skogen idag är en kvarleva från gårdagen	15
4. Kol och klimatnytta, marken, träden och produkterna	19
4.1 Kol på skogsmark.....	19
4.2 Gamla skogar binder också kol	21
4.3 Kol i produkter och utsläpp som undviks med substitution	22
4.4 Kol- eller klimatneutralitet	24
4.5 Skogens klimatnytta handlar om mer än en referensutveckling..	25
4.6 Klimatnyttans tidsperspektiv avgörande	28
5. Trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk.....	31
5.1 Det etablerade trakthyggesbruket och hyggesfritt skogsbruks återinträde	31
5.2 Jämförelser mellan skogsbruksslagen	33
5.3 Skogsbruk på dikade torvmarker.....	36
6. Den svenska skogsfrågans och skogspolitikens bredare sammanhang.....	38
7. Skogsägaren, skogsindustrin och andra skogliga aktörer	44
8. Skogsbrukets klimatomställning återstår	48
9. Skogsbruk för ökad klimatnytta	52
9.1 Avverka lagom	53
9.2 Längre omloppstid och mindre gallring	53
9.3 Naturvård kan ge klimatnytta	54
9.4 Viktigt att öka skogens resiliens.....	55
9.5 Affärsmodell kolsänka	56
9.6 Läckage?.....	58
9.7 Nya produkter, industrin och efterfrågan	58
10. Slutsatser	61
Referenser	64

Sammanfattning

Det skogsbruk och den skogsnäring vi har idag har formats i en annan tid och under andra förutsättningar än de som råder nu. Hur man än ser på klimatfrågan innebär den en ny dimension som återstår att fullt ut inkorporera i bedömningar och beslut om mål och styrning, hos skogsägaren, skogsindustrin och i politiken. Vid sidan om produktionen av träråvara måste nu också klimatnyttan ses som ett mål. Här har man i Sverige ännu inte nått ända fram.

Skogen är idag till nytta för klimatet när den växande skogen binder kol och när träråvara ersätter (substituerar) fossilintensiva produkter. Dessa nyttor är dock inte ett resultat av en genomförd klimatomställning inom skogsbruket. Den rådande balansen mellan skogens kolsänka och användningen av träråvara med substitution, är inte en medveten avvägning, utan huvudsakligen ett resultat av ett långvarigt produktionsfokus och rådande traditioner och marknader. Skogens klimatnytta skulle kunna vara betydligt större än idag och vara ett ännu viktigare bidrag till att uppnå klimatmålen. Forskningen pekar på flera vägar för att åstadkomma en sådan utveckling. De handlar både om att säkra och förstärka skogens kolsänka och att få till en mer klimateffektiv användning av träråvaran.

Att värna och öka kolsänkan är centralt för klimatmålen. Idag är trenden att kolsänkan i skogen minskar, vilket innebär att avståndet till bindande klimatmål växer. Om denna utveckling fortsätter, ökar det behovet av ytterligare utsläppsminskningar inom andra sektorer för att nå klimatmålen. Detta skulle troligen öka kostnaderna för att uppnå en sammantagen utsläppsminskning, samtidigt som man inom skogsbruket skulle gå miste om synergier med andra mål, inte minst för biologisk mångfald. Inom skogsbruket skulle förlängda omloppstider och ökad avsättning, även av äldre skogar, kunna bidra till en ökad kolsänka. Det är också viktigt att stärka skogens motståndskraft, eftersom risker för skogsskador förväntas öka med en fortsatt klimatförändring.

Att använda träråvara som tas ut ur skogen för produkter är viktigt, men när träråvara skördas minskar samtidigt kolsänkan på skogsmark, och nettoutsläppen av koldioxid från skogsmark ökar. Därför är det också viktigt dels hur mycket träråvara som tas ut från skogen, dels vilken sorts produkter träråvaran används till. Idag går en stor del till kortlivade produkter och endast en mindre del till produkter som kan fungera som kolsänkor eller som är förknippade med ett högt substitutionsvärde. Detta är också något som måste förändras om Sverige ska kunna nå uppsatta klimatrelaterade mål.

Det finns mycket att vinna på en omställning av skogsbruket. Åtgärder i skogsbruket som förstärker klimatnyttan kan ha positiva effekter på enskilda skogsägares möjligheter och ekonomi. En medveten utveckling där mer av träråvaran används till dels nya, dels långlivade produkter kan bidra till ökad

klimatnytta, samtidigt som skogsnäringens långsiktiga utveckling gynnas. Samhällsnyttan förstärks vidare när staten på ett kostnadseffektivt sätt kan nå relevanta mål och internationella åtaganden på klimatområdet.

Det som krävs för en förändring är en skarpare politik som samordnat skär genom både skogs-, närings-, klimat- och miljöpolitiken, samt träffsäkra styrmedel som harmonierar politiken med de uppsatta klimatmålen. Sådana styrmedel kan till exempel omfatta förstärkt information och rådgivning från myndigheter till skogsägare, ersättningar för förstärkt kolsänka, eller stöd för åtgärder som ger synergier mellan naturvård och klimatarbete. Att industrin satsar på nya produkter som ger större klimatnytta än dagens mix är också mycket viktigt. Från forskarhåll, slutligen, behövs analyser och experiment med gemensamma eller mer transparenta antaganden och systemgränser.

1. Inledning

Syftet med denna syntes är att lyfta fram det aktuella kunskapsläget och vilka möjligheter som finns för beslut om skogen och klimatet. Mer specifikt handlar det om ett antal centrala frågor som är av grundläggande betydelse för hur vi förstår, hur vi pratar om, och hur vi kan välja rätt åtgärder för att stärka skogens klimatnytta. För att förstå var vi står, behöver vi veta hur vi landat i dagens praktik, samt hur denna praktik förhåller sig till de klimatmål som berör skogen. Det har lagts fram mycket ny forskning under senare år från flera discipliner, som belyser ovan nämnda frågeställningar. Samtidigt saknas analyser som ger den "stora bilden" och ofta baseras beslutsunderlag mestadels på "gammal" kunskap. Även om det fortfarande finns behov av ytterligare kunskapsutveckling, tycks behovet främst vara att relevant kunskap om skogssektorns möjliga roll i klimatomställningen sprids och omsätts till praktik.

Det är oomtvistat att skog och skogsbruk ger klimatnytta. Det finns dock en uppsjö av olika uppfattningar om vad denna nytta består i och hur stor den är. Dessa presenteras i debatter, inom forskningen, i samtal på bastulavar, i insändare, i politikeranföranden, i samtal grannar emellan, på möten i skogen och på andra platser. Här finner vi skogsägaren, skogsindustrin, naturvårdaren, den breda allmänheten, samerna, politiken och forskningen. Till dessa aktörer kan även myndigheter, media, utländska turister och även andra länder, via Sveriges internationella samarbeten, läggas. Detta är naturligt eftersom både skogsfrågan och klimatfrågan är komplexa och det är många aktörer som påverkar och påverkas av dem. Hur man orienterar sig inom skogsfrågan skiljer sig åt mellan såväl sammanhang som aktörer; förutsättningar och perspektiv varierar, kunskapsläget värderas olika och leder till olika slutsatser. Vi får därför en mängd olika förhållningssätt i samhället till de nya utmaningar och möjligheter som klimatfrågan och klimatomställningen innebär för skogsbruket. Men både förutsättningar och förväntningar utvecklas över tid. Det som är praxis i skogsbruket idag återspeglar en gången tid. Även om en viss systemomläggning nu skymtas, är dess genomslag i praktiken ännu begränsad, vilket har en bromsande effekt på klimatomställningen.

Om klimatförändringen och dess effekter ska kunna begränsas måste de globala växthusgasutsläppen minska i snabb takt, både på kort och på lång sikt (se faktaruta 1). För att åstadkomma detta är direkta utsläppsminskningar avgörande, samtidigt som kolsänkor oundvikligen spelar en viktig roll som komplement. Det är främst inom markanvändningssektorn inklusive skogsbruket som åtgärder kan vidtas för

omgående negativa utsläpp, genom att öka kolutsläppet (Nabuurs m fl 2022*). Potentialen för tekniska lösningar som ger negativa utsläpp är däremot svårbedömd – teknik för att avskilja och lagra koldioxid från atmosfären med tekniska system är ett betydligt mer osäkert kort jämfört med vad skogen kan erbjuda.

FAKTARUTA 1. Klimatmål och utsläppsbanor

Klimatförändringens effekter ökar med den globala uppvärmningsnivån, och därmed med utsläppen. De kumulativa koldioxidutsläppen fram till en viss tidpunkt låser in en viss global uppvärmningsnivå – det finns en "kolbudget" för olika temperaturbegränsningsmål. Hur hög uppvärmningen vid en given tid är beror även på den aktuella nivån av andra utsläpp av växthusgaser, särskilt metan. Uppvärmningsnivån påverkar havet och inlandsisar även mycket långsiktigt efter att uppvärmningstoppen nåtts. Här fortsätter klimatförändringen långt efter att själva uppvärmningen avstannat (Canadell m fl 2021*). Beräknade kolbudgetar för att inte överskrida 1,5 graders uppvärmning i enlighet med Parisavtalet förutsätter att de globala koldioxidutsläppen kulminerar före 2025, halveras till 2030 jämfört med 2019, och minskar till nettonoll senast i början av 2050-talet. Även för 2-gradersmålet behöver koldioxidutsläppen minska rejält, med en fjärdedel till 2030, och hälften till 2040, och ytterligare ner till nettonoll i början på 2070-talet (IPCC 2022*). I beräknade kolbudgetar har antagits att även andra växthusgasutsläpp, av till exempel metan, minskas kraftigt.

För att minska nettoutsläppen så snabbt som möjligt behövs även ökade kolsänkor (för så kallade "negativa utsläpp"). Dessa kan även bidra till nettonegativa koldioxidutsläpp bortom 2050-talet (IPCC 2022*). Större utsläppsminskning på lång sikt kan dock inte ersätta utsläppsminskning på kort sikt. Detta då ett överskridande av en uppvärmningsnivå innebär större klimateffekter och risker än om uppvärmningen begränsats till den överskridna nivån. Det går alltså inte att "backa" ett överskridande av en gräns, i effekt- och riskhänseende. Oavsett hur man ser på saken behöver därför utsläppen minska och upptagen (sänkor) öka i snabb takt, eftersom utsläppen i närtid har en klimateffekt på kort, mellanlång och lång sikt.

Oavsett hur stor skogens klimatnytta är idag så är det angeläget att öka den. Nyttan handlar om skogen som kolsänka samt hur träråvara omsätts vid avverkning. Kolsänkan bidrar till att minska nettoutsläppen genom att skogen binder kol. Användning av träråvara kan dels ge en fortsatt kolinlagring i långlivade produkter, dels bidra till att undvika utsläpp när träråvara substituerar, det vill säga används i stället för, fossilintensivt material eller energi. De substitutionsnyttor som dagens produkter från skogen levererar kan dock enligt många studier inte kompensera för den negativa klimateffekten som avverkning av skog medför på kolsänkan, speciellt på kort och medellång sikt, det vill säga upp till flera årtionden.

Hur vi nyttjar skogens klimatnyttor behöver balanseras eftersom det förstås inte går att både låta skogen vara kvar, och att avverka den. Varken samtalen eller debatten handlar om att välja mellan dessa två ytterligheter, kunskapsmängden om alternativen däremellan är omfattande. En rad avväganden behöver göras. Det kan handla om att göra val av metoder i skogsbruket och av affärsmodeller, samt inom politiken, i en riktning som bidrar till ökad kolsänka och/eller ökad tillväxt av

skogen, samt att rikta mer av användningen av uttagen träråvara mot långlivade produkter och produkter med större substitutionsnytta. Att öka skogens resiliens genom klimatanpassning är också viktigt eftersom risken för klimatrelaterade skador kommer att öka, vilket kan påverka skogen som kolsänka negativt.

Förutom klimatnytta spänner frågan om skogen över flera andra områden: ekonomisk avkastning för ägare och näring, bevarande av biologisk mångfald och ekosystemtjänster, förutsättningar för rennäring, naturturism och rekreation, samt värnande om andliga och kulturella värden (t ex Rummukainen 2021*, Mittuniversitetet 2022). Alla dessa nyttor ingår i att bruka skogen. Men i debatten, liksom i forskningen och i olika beslut, saknas fortfarande att alla nyttor på allvar beaktas, på ett integrerat sätt. Ofta finns det i stället en polarisering beträffande vad olika mål för skogen innebär, hur de ska prioriteras, och hur de bäst kan eftersträvas. Då finns det ändå möjliga åtgärder som ger flera nyttor samtidigt, till exempel genom att en naturvårdsinsats ökar kolsänkan. I en sådan polariserad situation, behöver avvägningar gällande skogen vara transparenta inom politik och näring, och det är viktigt att eventuella fördelningseffekter hanteras när det kommer till exempelvis enskilda skogsägare. Det kan öka acceptansen för vissa åtgärder eller mål, samt leda till samordningsvinster.

Tidsaspekten – över vilken period och hur snabbt ökad klimatnytta behövs – är central för vilken klimatnytta som kan uppnås genom åtgärder som ökar kolsänkan i skogen, respektive omsättningen av träråvara från skogen i produkter. Utgångspunkten för beslut är förstås hur skogen ser ut idag – trädslagsammansättning och åldersstruktur, dess sårbarhet inför climateffekter – liksom hur marknaden ser ut – vilka produkter industrin producerar, hur efterfrågan ser ut och så vidare. Detta har ett sammanhang som handlar om utvecklingen av relevant politik och samhällsmål, etablerandet av praxis, investeringar i skogen och inom skogsindustrin, och konsumtionsmönster. Allt detta är sådant som påverkar förutsättningarna för, och synen på, skogsbruket, och därmed även klimatutvecklingen.

I många fall har kunskapsläget gällande skogen och dess klimatnyttor rört sig snabbt under de senaste åren, snabbare än vad politiken och praxis har hunnit fånga upp. I den här syntesen avhandlas kunskapsläget gällande skogens och skogsbrukets klimatnyttor i Sverige, med viss utblick även mot Finland, som har liknande förutsättningar på det skogliga området. Tonvikten ligger på vetenskapliga resultat och relevanta myndighetsrapporter från de allra senaste åren. Det vetenskapliga underlaget spänner över fältforskning, långa mätserier och olika analyser och modelleringar. I den vetenskapliga litteraturen är det naturligt att slutsatserna vilar på olika bakomliggande antaganden, metodval och data som bland annat har olika geografiska och tidsrelaterade begränsningar samt olika systemgränser. Även olika slags rapporter har tagits fram av näringen och används ofta i debatten och för påverkansarbete gentemot politik och allmänhet. Översikts- och metastudier som syntetiserar forskning till mer robusta slutsatser än varje enskild studie för sig identifieras i denna rapport med ”*”. Studier som avser skogsbrukets biofysiska effekter på klimatet, till exempel albedo och utsläpp av flyktiga kolväten, omfattas

inte (May m fl 2020*). Sådana kan ändå vara viktiga att begrunda på specifika lokala eller regionala skalor.

I följande kapitel diskuteras bland annat frågeställningar som:

- hur skogen har utvecklats under de senaste åren, vilket är en utgångspunkt för planering och genomförande av åtgärder framöver,
- hur det skogsbruk vi har idag har kommit till, och hur skogsbruket tidigare har svarat på nya utmaningar och möjligheter, med både gradvisa och transformativa utvecklingar,
- hur kolsänkor och användning av träråvara kan bidra till att öka skogens sammanlagda klimatnytta, samt hur slutsatser påverkas av systemgränser i tid och rum, och den avgörande tidsdimensionen,
- hur kalhyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk förhåller sig till klimatnyttan,
- hur skogspolitikens utveckling nationellt och inom EU är i otakt, vilket behöver uppmärksammas bättre om Sveriges klimatrelaterade mål och åtaganden ska kunna nås,
- hur skogsägaren, skogsindustrin och samhällsnyttan påverkas lika och olika vid de olika åtgärder som finns för ökad klimatnytta,
- hur stor skogsnäringens potential för ökad klimatnytta är, och hur näringen ligger efter i sitt bidrag till klimatmålen och klimatomställningen i stort.

2. Hur står det till i skogen?

Skogen är viktig i flera europeiska länder och inte minst Sverige och Finland är stora skogsländer. Skogen har vuxit bra under många årtionden, vilket har gett en stor kolsänka. Skogen har samtidigt avverkats för träråvara, och denna har i sin tur använts till sågvirke och massa, även om den största andelen av biomassan direkt eller indirekt har använts till skoglig bioenergi. Eftersom avverkningen har varit lägre än tillväxten har kolsänkan kunnat öka. På senare år har dock nettotillväxten och kolsänkan visat minskande trender, samtidigt som avverkningarna ligger på en historiskt hög nivå.

En betydande del av Europas skogar finns i Nordeuropa. Tillväxten, skogsarealen och kolinlagringen i Europas skogar ökade markant under andra halvan av 1900-talet. Flera faktorer bidrog till detta; kvävedeposition, ökad koldioxidhalt och klimatförändringens effekter, samt skogsbruk som till exempel återbeskogning av nedlagd jordbruksmark (t ex Bellassen m fl 2011, Erb m fl 2013, Etzold m fl 2020, Pretzsch m fl 2023). Hur skogen ser ut på olika håll, hur den brukas, olika aktörers syn på skogen, och ställningstaganden, skiljer sig en del mellan EU:s medlemsstater (t ex Brukas och Weber 2009, Pilli m fl 2017, Pecurul-Botines m fl 2023). Det har skapat friktionsytor i det gemensamma policyarbetet, men signalerar också att det finns olika möjliga vägar framåt. Kolsänkan i skogen är en viktig angelägenhet för klimatarbetet i Europa (faktaruta 2).

I Sverige och Finland hänvisas ofta till skogspolitiken som en orsak till det ökade virkesförrådet, och kolsänkan. Skogspolitiken har onekligen varit viktig för ökningen i virkesförrådet, tillika den dikning av stora arealer torvmarker som har ökat arealen av produktiv skogsmark. Men liksom på europanivå finns även andra anledningar till den ökade skogstillväxten i den svenska (t ex Appiah Mensah m fl 2021, 2023) och finska (Henttonen m fl 2017, 2024) skogen. Baserat på den finska nationella skogsinventeringen kom till exempel Henttonen m fl fram till att 20–40 procent av volymtillväxten sedan 1960-talet har berott på miljöfaktorer inklusive klimatförändringens effekter. Utvecklingen behöver också sättas i perspektivet att utgångsläget vid början av 1900-talet var ett kraftigt reducerat skogsbestånd. Sammantaget handlar en del av utvecklingen sedan dess om en återhämtning av skogen och kolinlagringen från effekterna av tidigare brukande.

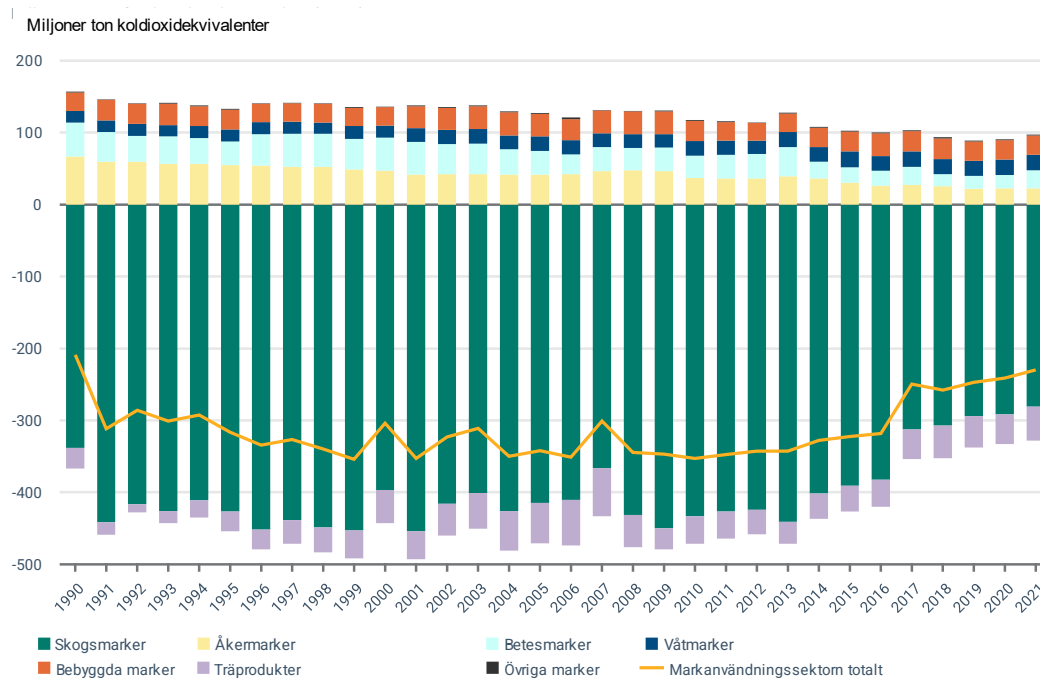
Vidare används uttagen träråvara idag till stor del på samma sätt som innan miljö- och klimatfrågan på riktigt kom upp i politiken. Vid avverkning tas cirka 80 procent av träråvaran ut från skogen, på EU-nivå. Av detta består merparten av rundved

medan drygt 10 procent är avverkningsrester (Camia m fl 2021*, avser 2004–2013). Även om trävaran därefter riktas till massa- respektive träproduktsindustrin, är det endast en mindre del som i slutänden blir till färdiga produkter. Av träråvaran från skogen omsätts uppemot två tredjedelar direkt (avverkningsrester och sämre rundved) eller indirekt (restprodukter) som energi. Resten blir dels träprodukter (omkring 30 procent av träråvaran i skogen hamnar i färdiga produkter som sågvirke eller skivor), dels massa för papper eller kartong (ca 15 procent av träråvaran) (Camia m fl 2021*, Cazzaniga m fl 2021).

I Sverige tas cirka 80 procent av den avverkade träråvaran tillvara, resten lämnas kvar på skogsmarken (dessa 20 procent är exklusive stubbar)¹. Träråvaran från skogen består till cirka hälften av sågtimmer och två femtedelar av massaved. Resten är brännved. Av såg- respektive massavirke blir dock endast en del färdiga produkter, resten användas för energiändamål, inte minst inom industrins egna tillverkningsprocesser. Sammantaget används cirka hälften av den svenska träråvaran som skoglig bioenergi, omkring en tredjedel blir papper och massa och en femtedel träprodukter som sågvirke (IRENA 2019). I Finland är siffrorna snarlika; drygt hälften av träråvaran används för energi, omkring 15 procent blir träprodukter, och 25 procent papper och massa. De olika andelarna ger olika möjligheter till klimatnytta. Långlivade produkter kan fortsätta lagra kol från skogen under en tid. Kortlivade produkter inklusive skoglig bioenergi släpper ifrån sig kolet inom kort tid. Både långlivade och kortlivade produkter kan dock bidra till att vissa utsläpp undviks, genom substitution. Samtidigt innebär användning av träråvara att stora kollager avlägsnas från skogsmarken, och utsläpp snabbas på motsvarande den del av träråvaran som lämnas kvar på skogsmark (hyggesresterna).

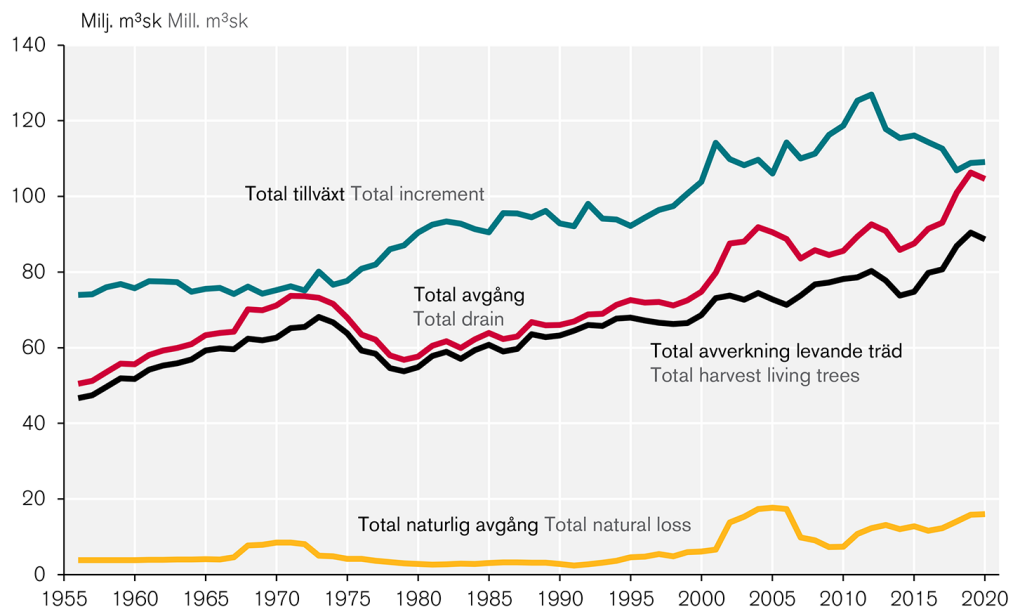
Ökningen i avverkning har varit markant. Mellan 2000 och 2021 ökade den med ungefär 25 procent inom EU. Kolsänkan har i sin tur också minskat markant (EEA 2023a, Korosuo m fl 2023, Winkler m fl 2023, ESABCC 2024), se figur 1. Utöver ökad avverkning har flera andra faktorer bidragit till kolsänkans minskning: minskad återbeskogning, minskad årlig tillväxt kopplad till skogars åldersstruktur, och skogsskador relaterade till stormar, bränder och barkborrar. Skogen har fortsatt att vara en kolsänka i den meningen att kollagren ökat, men i långsammare takt än tidigare. En följd av de senaste årens utveckling är att det nu ter sig svårare att nå klimatmålen än för bara några år sedan.

¹ <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/avverkning/>



Figur 1. Utsläpp och upptag av växthusgaser inom markanvändningssektorn (EU-27) 1990–2021. Skogsmark utgör den absolut största delen av den totala kolsänkan, men träprodukter bidrar också. Den årliga kolsänkan har minskat under de senare åren, vilket har lett till att hela markanvändningssektorns nettosänka försvagats. (EEA 2023b, figur 5.1.)

Kolsänkans utveckling i Finland och Sverige liknar den för hela EU. Mellan 1990 och 2014 var den årliga kolsänkan i skogen i Finland, inklusive långlivade träråvaror, i storleksordningen 30 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år. Sedan dess har den minskat och 2018, och därefter även 2021–2022, var den under 10 miljoner ton (LUKE 2023). Enligt finska Naturresursinstitutet (LUKE 2022) är den främsta anledningen till minskningen en ökad avverkning. Skogens åldersstruktur och specifika väderrelaterade tillväxtförhållanden har också haft betydelse. Vad gäller möjligheten att nå de nationella klimatmålen är utvecklingen i Finland förstås problematisk. Detsamma gäller för landets mål inom den europeiska markanvändningsförordningen, med tanke på att kolsänkan under de senaste åren kraftigt har understigit målnivåerna.



Figur 2. Utveckling av skogens tillväxt och avgångar i Sverige från mitten av 1950-talet till 2020 (glidande femårsmedelvärden). Notera att skillnaden mellan tillväxt och avgång på den produktiva skogsmarken som används för virkesproduktion är mindre än vad som framgår i figuren eftersom frivilliga avsättningar och hänsynsytor ingår. Skyddade områden ingår inte. (Jfr SLU 2024, figur 3.30.)

För Sveriges del gav Fridman m fl (2022) en annan förklaring till de senaste årens minskade kolsänka. Fridman m fl jämförde perioderna 2005–2012 och 2012–2018. Under den tidigare perioden noterades ökad (ca 20 miljoner skogskubikmeter) volymtillväxt. Under den senare perioden dokumenterades en jämförbar minskning. Gruppen drog slutsatsen att dessa olika trender berodde på temperatur- och nederbördsförhållanden. Samtidigt ökade den årliga avverkningen med cirka 15 miljoner skogskubikmeter mellan 2005 och 2018, vilket i storleksordning ligger nära den konstaterade tillväxtminskningen (figur 2, likheten är stor i den finska statistiken [LUKE 2024] som också visar en trend mot minskande skillnad mellan tillväxt och avgång). Riksskogstaxeringen (SLU 2024) och Naturvårdsverket (2023a) anger att höga nivåer av avverkning har bidragit till minskande skogstillväxt i Sverige. Avverkningen har sedan 2018 ökat ytterligare (Skogsstyrelsen 2023a), och det finns också en trend mot kortare omloppstider (SLU 2024). I Finland har man även noterat att en betydande andel av gallringar har varit mer intensiva än vad som rekommenderats (Hynynen m fl 2023). Sammantaget visar utvecklingen att trycket på skogens träråvara har ökat både i Sverige och i Finland².

Bakom utvecklingen finns givetvis olika drivkrafter och faktorer som politiska beslut, marknader och specifika tillväxtfaktorer påverkan. Hur de senaste årens

² Även i Norge har skogen utvecklats på samma sätt som i Sverige och Finland sedan 2010, troligen på grund av samma anledningar, dvs. avverkning och tillväxtförhållanden inklusive skador, se <https://nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/store-enderinger-i-utviklingstrenden-for-norsk-granskog>

trender avseende tillväxt och kolsänka fortsätter beror på hur dessa drivkrafter utvecklas (jfr Wikberg m fl 2023). Sammantaget är val i skogspolitiken, utformning av styrmedel, näringslivets investeringar och praktik i skogsbruket centrala för skogens klimatnytta framöver. Klimatförändringens effekter på risker och klimatomställningens påverkan på marknader, samt det som avser andra nyttor, exempelvis biologisk mångfald, har också betydelse.

3. Skogen idag är en kvarleva från gårdagen

Hur skogen ser ut återspeglar både skogspolitiken och skogsbrukets praktik. Synen på skogen i Sverige och Finland har förändrats över tid, genom olika bestämmelser och på grund av omvärldsförändringar. Hur skogen vi har idag ser ut är ett resultat av beslut som togs årtionden tillbaka samt av tidigare omständigheter, med produktion som främsta mål. Klimatmålen har ännu inte hunnit få något större genomslag.

Fram till början av 1900-talet hade skogen påverkats negativt av exploatering för olika ändamål: behov av träkol, tjära, brännved och pottaska, svedjebruk och i ökande grad råvara till skogsindustrin, sågverken, massafabriker och pappersbruk. Farhågor gällande industrins råvaruförsörjning ledde till lagstiftningar med krav på återväxt med olika relaterade bestämmelser i successiva skogsvårdslagar, samtidigt som rådgivning och styrning utvecklades med regionala och statliga inslag. Detta ledde till ökande virkesförråd. Förstärkningen av kolsänkan fick ett värde först mycket senare, när klimatfrågan uppmärksammades.

Skogsbruket ser annorlunda ut idag än i början av 1900-talet (Mönkkönen m fl 2022). Omkring mitten av 1900-talet svängde skogsbruket över från den tidens hyggesfria skogsbruk (avverkning av de största träden utan hänsyn till resten av skogen) till trakthyggesbruk, främst i form av rotationsskogsbruk med kalhuggning (t ex Lundmark m fl 2021). Varken biologisk mångfald eller klimatfrågan fanns då på agendan. Idag täcks en stor del av landskapet av hårt brukade likåldriga produktionsskogar som huvudsakligen består av ett trädslag, gran eller tall. Skogar på före detta åkermark kom att utgöras av nästan helt enartade bestånd. Enligt SLU (2019) är en dryg tredjedel av skogen på produktiv skogsmark, inklusive reservat, enskiktad. Knappt 55 procent av skogen är tvåskiktad. Trenden för andelen flerskiktade bestånd var minskande. Mycket av skogen avverkas när den biologiskt sett fortfarande är ung, växer kraftigt och är en betydande kolsänka som varje år ökar kollagren på skogsmark.

I Sverige har mål och regleringar kommit och utvecklats i de successiva svenska skogsvårdslagarna (Skogsstyrelsen 2001). Produktion och råvaruförsörjning var ett starkt inslag redan i början av 1900-talet, vilket resulterade i återväxtkrav i 1903 års skogsvårdslag. Vid den tiden praktiserades både trakthyggesbruk och hyggesfritt, men från mitten av 1900-talet kom trakthyggesbruket att dominera. Trakthyggesbruket etablerades på allvar i och med Skogsvårdslagen 1948 samt Domänstyrelsens cirkulär nummer 1 år 1950.

Även om 1948 års skogsvårdslag inte innehöll något explicit förbud mot blädning (en form av hyggesfritt skogsbruk), ingick ett sådant indirekt i och med bestämmelserna kring föryngringskyldighet när skogstillståndet inte var tillfredsställande, vilket kunde avse en för gles skog (Appelstrand 2007). Domänstyrelsen fastställde att avverkning skulle motsvaras av föryngring och skogsodling i stället för naturlig föryngring (Brynte 1993, Enander 2003). Statliga skogar med mycket låga virkesförråd skulle kort och gott återställas med trakthyggesbruksmetoder, genom kalhuggning och skogsodling. Stora skogsföretag följde med denna utveckling.

Naturvård och biologisk mångfald uppmärksammades formellt på samma nivå som produktion först i 1993 års skogsvårdslag. Då skedde också en stor avreglering till förmån för principen ”frihet under ansvar”, vilket gav betydligt friare händer inom skogsbruket, samtidigt som det uttrycktes en förväntan om att de olika målen skulle nås genom utbildning, rådgivning och information. Denna ”den svenska modellen” (KSLA 2009) hänvisas till i politiken och skogsindustrin gällande hur skogsbruket idag är utformat. Några år senare, år 1999, kom de nationella miljökvalitetsmålen, av vilka flera berör skogen. Skogsstyrelsen (2001) konstaterade i början av 2000-talet att skogsbruket trots dessa inte nämnvärt förändrats sedan 1993 års skogsvårdslag. Skogsvårdslagen uppmärksammar inte heller klimatfrågan. De senaste årens stora utredningar, propositioner och handlingsplaner som berör skogen har inte heller belyst kopplingen mellan klimatet och skogen i någon större utsträckning³.

I Finland har utvecklingen varit likartad, från tidigare hyggesfritt brukande till trakthyggesbruk från och med mitten av 1900-talet. I 1917 års skogslag var kalavverkning som den praktiserades likställd med skogsförstörelse och fick användas endast i undantagsfall. Krigsåren på 1940-talet och de följande årens krigsskadestånd tvingade dock fram intensiva avverkningar, vilka fortsatte även efteråt. Som definitiv vändpunkt anges ofta utgivningen av skrivelsen ”harsintajulkilausuma”, det vill säga ett ”blädningsuttalande” (Appelroth m fl, 1948). I den dömde sex profiler inom skogsforskning och skogsindustrin i starka ordalag ut hyggesfritt som ”naturvidrigt och oekonomiskt”. Det framfördes att skogars ”rasmässiga försämring” skulle undvikas genom skogsodling. Praxis svängde över till trakthyggesbruk, lagstiftningen hann i kapp först senare. Kalhuggning tillämpades inledningsvis i statens skogar och bolagsskogar, men spred sig därefter även till enskilda skogsägares skogar, vilket enligt Vaara (2013) drevs på hårt av de så kallade skogs nämnderna som vid den tiden hade det offentliga rådgivnings- och översynsuppdraget visavis skogsägare.

I den idag gällande 2013 års finska skogslagen finns mål om både produktion och biologisk mångfald (jfr Mutanen m fl 2023). Bland annat blev möjligheten till hyggesfritt skogsbruk återigen likställt med trakthyggesbruk. Samtidigt försvann en

³ En skogspolitik i takt med tiden” (proposition 2007/08:108); ”Vägen till en klimatpositiv framtid” (SOU 2020:4); ”Stärkt äganderätt, flexibla skyddsformer och ökade incitament för naturvård i skogen (SOU 2020:73); ”Stärkt äganderätt, flexibla skyddsformer och ökade incitament för naturvården i skogen med frivillighet som grund” (proposition 2021/22:58); Regeringens klimathandlingsplan – hela vägen till nettonoll (Skr. 2023/24:59).

del bestämmelser, exempelvis kring minsta diameter eller lägsta ålder vid slutavverkning.

Samtidigt som lagstiftningen gällande skogen under senare år har avreglerats, har frivilliga certifieringssystem gjort entré (se faktaruta 2). Certifieringarna är privata marknadsinitiativ för att främja hållbarhet i skogsbruket. Men enligt t ex Hysing (2009) och Boström (2003) faciliterades certifieringarna ändå, på ett visst avstånd, av statliga aktörer. Skogspolitiken, som den tog form under 1990-talet, påverkade indirekt certifieringarnas tillkomst även på andra sätt. Dels var beslutad politik en fästpunkt för utformningen av certifieringarna, dels fanns det ett missnöje med att miljöfrågor var bristfälligt hanterade i lagstiftningen, vilket påkallade komplement (Boström 2003). Certifieringarna har haft betydelse för skogsbruket genom sina, i praktiken, bindande krav på viss hänsyn. Certifieringssystemen har samtidigt kritiserats för att inte vara tillräckligt effektiva (Villalobos m fl 2018) eller långtgående, och för brister i kontrollen av efterlevnad (jfr Nilsson 2018). Vad gäller klimatnyttan så ingår den än så länge inte konkret i certifieringarna.

FAKTARUTA 2. Skogscertifiering

Det finns två utbredda internationella skogscertifieringar, "Programme for the Endorsement of Forest Certification" (PEFC) och "Forest Stewardship Council" (FSC). Det är frivilligt för skogsägaren att certifiera sin skog, men det ger konkurrensfördelar. Certifiering förutsätter att vissa krav är uppfyllda gällande miljö, ekonomi och samhällsnytta. Kraven innebär bland annat hänsyn till biologisk mångfald utöver vad som regleras i lagstiftningen. FSC initierades av större skogliga aktörer och miljöorganisationer vid mitten av 1990-talet. I Sverige samlar FSC främst företag. PEFC var ett initiativ av europeiska privata skogsägare och fick sin början några år efter FSC. I Sverige samlar det främst privata skogsägare, bolag och enskilda intresseorganisationer.

Certifieringarna är inte inriktade mot direkta klimatnyttor. Indirekt kan ändå vissa krav i FSC bidra till att säkra kolsänkan. Sådana krav avser i FSC naturvärden och livsmiljöer, inte minst skydd av naturskog. För certifiering krävs bland annat 5 procents avsättning av produktiv skogsmark utöver vilket ytterligare 5 procent ska skötas i linje med bevarandemål och mål om sociala värden, samt uppmärksamhet på död ved. I den senaste PEFC-standarden som trädde i kraft i början av 2024, skrivs översiktligt om skogens klimatnyttor, men klimatet återspeglas inte i skogsbruksstandarden. På samma sätt som i FSC finns ändå krav på miljövärden, vilket indirekt kan bidra till kolsänkan.

Även om skogspolitiken i Sverige under 1990-talet breddades för att ge samma vikt åt miljö som åt produktionen av träråvara, så har miljövärden inte fått samma genomslag i praktiken (t ex Sotirov och Storch 2018). En del formella skyddsåtgärder har vidtagits och frivilliga avsättningar gjorts. Detta, liksom förekomsten av impediment (mark som inte lämpar sig för skogs- eller jordbruk), kan tänkas (oavsiktligt) ha bidragit till att säkra kolsänkor. Improduktiva marker som är undantagna från skogsbruk hade dock varit kolsänkor oavsett. Mängden död ved har ökat på produktiv skogsmark och det finns en viss ökning av löv (SLU

2024). Den genomsnittliga storleken på hyggen har också minskat något mellan 2002 och 2022^{4,5}. Åtgärderna har dock inte varit i en omfattning som skulle utgöra tillräcklig miljöhänsyn. De nationella miljömålen som berör skogen inklusive klimatmålet bedöms inte kunna nås utan nya åtgärder (Skogsstyrelsen 2022a, Naturvårdsverket 2023b).

Klimatfrågan har inte fått något stort genomslag varken i den svenska skogsvårdslagen eller den finska skogslagen (Hynynen m fl 2023). I båda fallen trädde den idag gällande lagstiftningen i kraft när skogens kolsänka var stabilare än idag, och innan det senaste fastställandet av målen inom markanvändningsförordningen LULUCF på EU-nivå. Skogen och dess kolsänka har ändå uppmärksamats i Finlands nationella klimatpolitik (se kapitel 6). Klimatfrågan har under senare år också tagit plats i skogsdebatten, både i Sverige och Finland, men den har då ofta använts för att ytterligare framhålla vikten av hög virkesproduktion (Lindahl m fl 2017, Kröger och Raitio, 2017). Klimatfrågan och ”bioekonomi” används vidare som argument för att fortsätta med dagens intensiva skogsbruk med fokus på produktion (Regeringskansliet 2018, Sotirov och Storch 2018, Holmgren m fl 2022, Skogsindustrierna 2022, 2023, Heder Brandt m fl 2023). När klimatargumentet används för att försvara mål och praxis i en skogsförvaltning som har uppstått under andra förutsättningar, kan det motverka en effektiv klimatomställning (Andersson och Keskitalo 2018, Lindahl m fl 2017, Kröger och Raitio 2017, Mustalahti 2018, Fischer m fl 2020). Enligt Hertog m fl (2022) motverkar tidigare etablerade kulturella, utbildningsrelaterade och näringsrelaterade faktorer, som utgör normen i skogsbruket idag, aktörers möjlighet att praktisera hyggesfritt skogsbruk.

Som nämnts ovan har det skogsbruk och den skogspolitik som vi har idag formats under tidigare förhållanden, omvärldsförändringar och drivkrafter – skogsbruket har inte på något sätt varit statiskt (Ekelund och Hamilton 2001, Skogsstyrelsen 2001, Vaara 2013, Edwards m fl 2022). Praktiken, industrin, forskningen och politiken präglas idag på många sätt av vad som skett de senaste cirka 70 åren, snarare än samhällsutvecklingen under senare år. Lagstiftningen över tid har återspeglat sin tid och vidhängande tänkande, och både styrt och responderat på utvecklingen. Sammantaget kvarstår ett styrande fokus på produktion genom trakthyggesbruk med kalhuggning. Det traditionella produktionsinriktade paradigmet har dock, såväl i Sverige som i Finland, i ökande grad börjat utmanas av miljöhänsyn, kolsänkans klimatnytta och allmän opinion.

⁴ https://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas__Avverkning/JO0312_09.px/table/tableViewLayout2/

⁵ Så kallade ”sammanhängande kalmarsarealer” är något större än enskilda hyggen vad gäller i genomsnitt, median och speciellt 95e percentilen. Med sammanhängande kalmarsarealer avses ”föryngringsavverkningar som under en period av tre avverkningssäsonger från avverkningstidpunkten med ett mindre avstånd än 20 meter från varandra betraktas som en sammanhängande kalmarsareal”, det vill säga den sammanlagda storleken av angränsande hyggen. Om perioden förlängdes från definitionens tre år, skulle skillnaden mellan storleken på hyggen respektive sammanhängande kalmarsarealer rimligen öka mer. Se <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/miljohansyn-vid-foryngringsavverkning/>

4. Kol och klimatnytta, marken, träden och produkterna

Skogen bidrar med klimatnytta genom att den utgör en kolsänka som minskar nettoutsläppen av koldioxid till atmosfären, samt genom substitutionsnytta – att man genom att använda träråvara i stället för fossilintensiva material undviker växthusgasutsläpp som annars hade skett. Den sammanlagda effekten av skogens klimatnytta har fått större uppmärksamhet under senare år, vilket kan informera beslut om skogens förvaltning. Hur kolets kretslopp berör skogen är i princip väl förstått, men det förekommer både förenklingar och systemgränser inom såväl forskningsresultat som diverse framställningar som är viktiga att känna till och förstå vid tolkning och när man drar slutsatser. Frågeställningar som ofta kommer upp i samtal om skogens klimatnytta handlar om kolinlagring i gamla skogar, hur stor substitutionsnyttan är, samt tidsdimensionen, som är en central aspekt när det gäller klimatnyttan. Eventuell kolneutralitet är inte heller samma sak som klimatneutralitet. Klimatet påverkas av alla växthusgasutsläpp och att eventuellt fånga upp växthusgaser från atmosfären i efterhand är inte en åtgärd som är tillräcklig för att undvika negativa effekter.

4.1 Kol på skogsmark

Skogens kol återfinns i levande biomassa, död ved, förna, och i marken. Kol i skogen ingår i kolets globala kretslopp där kol växlas mellan atmosfären, havet och ekosystem som skogen, med antingen en ökande eller en minskande effekt på koldioxidhalten i atmosfären.

Balansen mellan fotosyntes och nedbrytning avgör hur kolsänkan utvecklas över tid på skogsmark när en skog växer och efter en avverkning. Kolbalansen kan skifta dramatiskt mellan faserna, till exempel när kalavverkning leder till kraftigt minskad fotosyntes, samtidigt som respirationen (som leder till avgång av koldioxid) påverkas i mycket mindre grad. Vid avverkning bortforslas träråvara från skogsmarken, vilket leder till en avgång av koldioxid när produkterna som utvinns

ur träråvaran slutanvänds. För hyggesrester som lämnas kvar på hygget gäller att de avger koldioxid i takt med att de förmultnar.

Jämfört med den delen av kolsänkan som den levande biomassan står för är förändringar i markkolet svårare att följa upp. Marken störs vid avverkning och eventuell markberedning, samt genom att bildningen av förna påverkas. Studier tyder på ett tidsförlopp, där avverkning följs av en inledande mycket kortvarig minskning eller ökning av organiskt kol i mineraljorden, följt av en ytterligare minskning, som på längre sikt övergår i en återhämtning över flera årtionden (Dalsgaard m fl 2015*, Dean m fl 2017, Stendahl 2017). Successiva avverkningar kan leda till en långsiktig minskning av markkolet (Dean m fl 2017). Markkolet och tillväxten kan påverkas negativt även av uttag av hyggesrester (t ex Mäkipää m fl 2015). Mayer m fl (2020*) har sammanfattat resultat, som spänner över olika typer av skog, om hur markkolets utveckling påverkas av val i skogsbruket. De drog slutsatsen att avverkning, skörd av avverkningsrester och markberedning minskar markkolet. Resultaten var däremot inte entydiga vad gäller gallring. Skogens sammansättning påverkar också markkolet, och det finns även resultat som pekar på att höga kvävenivåer kan öka markkolet.

Nedbrytande svampar och mykorrhiza är potentiellt väldigt viktiga för kolsänkan i marken (Clemmensen m fl 2013, 2015). Dessa system kan påverkas av avverkning, gallring, naturvårdande åtgärder och gödsling (t ex Jörgensen m fl 2021). Effekterna vid avverkning kan vara dramatiska. Sterkenburg m fl (2019) följde upp nästan 150 olika svamparter efter olika intensiv avverkning i en 190-årig tallskog. Avverkningsintensiteten hade stor påverkan på mångfalden av svamparter. I kalhyggen var minskningen 95 procent, och fortfarande vid 5 procents retention (det vill säga att man lämnar kvar en del av träden på hygget) uppskattades förlusten uppgå till omkring 75 procent av arterna. Redundansen mellan arter kan vara begränsad, både vad gäller återhämtningstid efter avverkning och effekter på markkolet (Lindahl m fl 2021). Naturhänsyn, som till exempel evighetsträd eller hänsynsytor, bidrar till att begränsa effekterna (Varenius m fl 2017). Avverkningens påverkan på svampsystemen finns kvar länge. Även om långsiktig återhämtning kan ske, har effekter konstaterats kvarstå i 50 år gamla bestånd (Varenius m fl 2016). Sammantaget, även om det råder osäkerhet om olika svamparters funktion och påverkan på markens förmåga att lagra kol och hur svampsystemen påverkas av gödsling, tyder forskningresultaten på att intensiv avverkning, särskilt kalhuggning, har negativ påverkan på markens roll som kolsänka.

Död ved utgör en del av kolinlagringen på skogsmark. Död ved uppstår vid avverkning, naturliga störningar, samt successivt när skogen utvecklas över tid. Detta diskuteras nedan i samband med gamla skogar.

4.2 Gamla skogar binder också kol

Hur kolbalansen ser ut i skogen varierar med skogens ålder – från nyplanterade kalhyggens nettoutsläpp till kolsänkan i bestånd som vuxit till sig. I debatten påstås ofta att (biologiskt) äldre skogar landar i ett ”jämviktstillstånd” i vilket kolavgångar skulle vara lika stora som kolinbindningen. Det anges ibland även att gamla skogar skulle ”läcka” kol. Flera studier med utgångspunkt i mätningar och/eller modellering visar dock att skogar som passerat typiska avverkningsåldrar fortsätter att vara kolsänkor i upp till flera hundra år, och dessutom utgör betydande kollager. Vid vilken tidpunkt en skog avverkas avgörs oftast av ekonomiska överväganden, och inte av skäl som att skogen skulle ha slutat växa, ha hunnit bli särskilt gammal, eller ha tappat i förmåga att lagra kol.

Kunskapsläget om äldre⁶ skogars förmåga att utgöra kolsänka har under senare år börjat fyllas på (Luyssaert m fl 2008*, 2021, Keeton 2018, Thom m fl 2019). Åldern hos de äldsta undersökta bestånden varierar mellan studierna. Thom m fl (2019) fann en betydande kolsänka i undersökta 130–200 år gamla skogar i nordöstra USA/sydöstra Kanada. En genomgång av över 1000 norska gran- och tallbestånd (Stokland 2021) visade på stabil volymökning under 50–100 år efter gängse avverkningsålder. Även för det fåtal träd som var ännu äldre, några hundra år gamla, såg man detsamma. Naturlig mortalitet låg på stabil nivå, och den överträffades av fortsatt volymökning. Peichl m fl (2023a) undersökte ett skogsområde med mestadels trakthyggesbruk i nordöstra Sverige, med en beståndsålder på upp till drygt 200 år. De konstaterade att även de äldre av bestånden fungerade som betydande kolsänka, på en nivå på omkring 56 procent av högstanivån i ”medelålders” bestånd. I Pukkala (2018) modellbaserade studie ökade kolmängden i levande biomassa i 150 år i ett skogsområde i södra Finland, efter vilket kolinlagringen ökade i ytterligare 60–70 år genom en ackumulering av dött organiskt material.

Den döda ved som uppstår vid avverkning, naturliga störningar eller när skogen åldras är en del av kolsänkan. I boreala skogar tar det lång tid (70–200 år, beroende på bland annat klimatzonen) innan död ved har förmultnats (Stokland 2001, Tuomi m fl 2011, Dalsgaard m fl 2015*, Pukkala 2018). Det bidrar till att också i skogar i vilka nettotillväxten bromsar in, kan kolsänkan bestå och kolinlagringen öka under ytterligare flera årtionden, i växelverkan mellan tillväxt och tradmortalitet (Mehtätalo 2023). Att även gamla skogar kan utgöra en betydande kolsänka jämfört med nyetablerade bestånd, innebär att avverkning av äldre skog inte bara leder till en kraftig förlust av redan inlagrat kol, utan även minskar den effektiva årliga kolsänkan under många årtionden (jfr Goldstein m fl 2020).

⁶ ”Gammal skog” avser skog med en medelålder över 140 år i norra Sverige och 120 år i södra Sverige, och används som indikator i miljömålsarbetet. Gammal skog som inte brukats aktivt kallas vidare till exempel urskog, naturskog eller urskogsartad skog. Det finns även en miljömålsindikator ”Gammal skog med särskild indikation på naturvärden” som avser ”Gammal skog med något av stor mängd död ved, grova träd, hög ålder, flerskiktad skog eller ett övre skikt av överståndarträd”.

4.3 Kol i produkter och utsläpp som undviks med substitution

Mycket av den skogliga träråvaran omsätts direkt genom att användas för energi. Det är oljekrisen på 1970-talet, inte klimatfrågan, som förklarar det stora nyttjandet av skogliga biobränslen i Sveriges energisystem. Massaindustrin omsätter själv en stor del av den skogliga bioenergin i sina egna processer. Att träråvara används för massa (papper, kartong) och sågade träråvaror har inte heller föranletts av klimatskäl. Det finns potentiellt många fler möjliga användningsområden för träråvaran, till exempel tillverkning av textilier och kemikalier.

Utöver kolsänkan i skogen kan även långlivade träprodukter utgöra kolsänkor – kolet återgår till atmosfären först när dessa produkter förbränns eller bryts ned efter att de har slutanvänts – till skillnad från skogliga biobränslen som förbränns direkt. På samma sätt som för kolsänkan i skogen är det förändringarna i hur mycket kol som sammanlagt finns lagrat i produkterna, som avgör klimatnyttan. Vid en given tid är skillnaden mellan mängden tillförda produkter och produkter som slutavänts avgörande.

Till skogens sammanlagda klimatnytta räknas även substitutionseffekter. Substitutionsnyttor beräknas som förhållandet mellan den mängd (fossila) utsläpp som kan undvikas om en viss (netto) mängd träråvara används i stället för fossila bränslen eller material som produceras med fossilt inslag. Substitution kan exempelvis handla om att använda byggmaterial av trä i stället för stål eller cement, eller biobränslen i stället för kol, olja och fossilgas.

Det oftast använda måttet för hur effektivt det är att med träråvara undvika fossila utsläpp är ”substitutionsfaktor” (”substitution factor” eller ”displacement factor”)⁷. Hur stor en sådan beräknas vara beror på antaganden om tidshorisont, alternativnyttor, vilket bränsle eller material som substitueras och hur dessa skulle ha producerats, med utsläpp som hänger ihop med användningsfasen och slutanvändningen av produkten, hur användningen av skoglig bioenergi i skogsindustrins processer betraktas, och huruvida även kolinlagringseffekten inkluderas i substitutionseffekten (t ex Hurmekoski m fl 2021*, Kunttu m fl 2021, Statens offentliga utredningar 2023). För att sätta klimatnyttan av substitution i perspektiv är det viktigt att även jämföra med klimateffekten av bibehållen kolsänka på skogsmark, och med alternativ användning av träråvaran. Systemgränserna skiljer sig markant mellan olika studier, vilket återspeglas i resultaten. Många studier är emellertid inte tydliga om antagandena, vilket försvårar jämförelser (Hurmekoski m fl 2021*). Det är väsentligt att notera att trämaterial som inte ersätter annat material, utan hade använts oavsett för ett visst syfte, inte har någon reell substitutionseffekt (t ex Sathre och O’Connor 2010*).

⁷ Sathre och O’Connor 2010* ger en bra beskrivning av frågeställningen, beräknade värden har däremot studerats av flera sedan deras sammanställning.

Substitutionsfaktorn är så gott som alltid positiv, det vill säga: att ersätta fossilintensiv energi och fossilintensiva produkter med produkter av träråvara innebär i princip alltid mindre utsläpp. Det syns dock en tendens till lägre substitutionseffekter i den nyare litteraturen, jämfört med tidigare studier. Sathre och O'Connor (2010*) kom fram till en genomsnittlig substitutionsfaktor på 2,1 ton kol per ton kol i träråvara (2,1 miljoner ton mindre utsläpp räknat som kol vid användning av träråvara med ett kolinnehåll på 1 ton kol). Leskinen m fl (2018*) som ofta hänvisas till i olika framställningar, kom fram till en genomsnittlig substitutionsfaktor på 1,2 ton kol per ton kol i träråvara⁸, med ett ganska brett spann över olika träbaserade produkter. Det genomsnittliga värdet i Hurmekoski m fl (2021*) var återigen lägre – 0,55 – och hade ett betydligt smalare spann. Ytterligare studier har kommit fram till substitutionsfaktorer som avser breda produktsamlingar i en storleksordning mellan 0,4 och 0,8 (se diskussionen i Schulte m fl 2022). Som nämnts ovan är olika studier av den uppskattade klimatnyttan av att använda träråvara svåra att jämföra med varandra, bland annat på grund av olika antaganden om systemgränser och vilka produkter som studerats (t ex Birdsey m fl 2018, Leskinen m fl 2018*, Harmon 2019, Myllyviita m fl 2021*, Hurmekoski m fl 2021*, Cowie m fl 2021*, Schulte m fl 2022).

För att betrakta substitutionsnyttor som en del i en utsläppsminskningsstrategi är även tillverkningen av de produkter som substitueras och substitueras relevant, liksom hur konsumtionen av olika produkter utvecklas över tid (t ex Bushbeck och Pauliuk 2022). En klimatomställning som leder till ett minskat kolavtryck från energi och produkter kan över tid minska substitutionens klimatnytta. Det innebär att en viss substitutions klimatnytta ändras över tid. Brunet-Navarro m fl (2021) drog slutsatsen att klimatnyttan från materialsubstitution, som idag kan bidra till klimatnytta på kort sikt, på längre sikt minskar kraftigt, när energisystem och tillverkning av material utvecklas, materialintensitet minskar, återvinning ökar och konsumtionsmönstren förändras. För att mer långsiktigt åstadkomma hög substitutionseffekt med träråvara behövs därför fortsatt utveckling och uppskalning av nya produkter (Hurmekoski m fl 2020).

Utöver problematiken kring extrapolering av dagens substitutionsnyttor längre fram i tiden finns det kritik mot hur antaganden om substitutionsnyttor ofta har använts (Harmon 2019, Leturcq 2020, Howard m fl 2021*). Det handlar om att rapporterade värden i många fall ger en alltför förenklad och positiv bild av klimatnyttan av substitution, men också om bristande transparens gällande bakomliggande antaganden. Enligt Harmon (2019) kan överuppskattningar i många fall vara det dubbla eller mer, jämfört med den egentliga substitutionsnyttan. En del sammanställningar tillskriver dessutom användning av träråvara en generell klimatnytta, vilket är problematiskt. I de fall det inte finns något riktigt alternativ till träråvara blir det kontrafaktiskt att attribuera den en substitutionseffekt (t ex Sathre och O'Connor 2010*, Grassi m fl 2021b, Eggers och Schulte 2023), detta

⁸ Beroende på studien används även andra mått, t ex ton kol per mängden träråvara, per mängden rundved, uppskattade ekvivalenta utsläpp. Skillnaden i numeriska värden kan vara stor, effekten på utsläppen påverkas däremot förstås inte.

gäller till exempel grafiskt och mjukpapper, och vissa konstruktionsmaterial. Substitutionsnyttor svarar inte heller på frågan om den nytta substitutionen ger är den bästa nyttan givet det trä som tagits ut ur skogen, eftersom effekter som avverkningens påverkan på kolsänkan i skogen och hur en produkt används (Myllyviita m fl 2021*) ofta inte ingår. Detsamma gäller för hur substitutionens klimatnytta kan jämföras med möjlig klimatnytta från alternativ användning av träråvaran (jfr Hurmekoski m fl 2020).

4.4 Kol- eller klimatneutralitet

Ibland framhålls det som att skogens upptag och utsläpp av koldioxid skulle ha ett eget kretslopp, som inte hänger ihop med kolets globala kretslopp som kopplar ihop ekosystem och marken, havet och atmosfären. Det finns inlägg som hänvisar till ”svarta” och ”gröna” kolatomer (t ex Black-Samuelsson m fl 2017, Skogsstyrelsen 2019a, Bergh m fl 2020a, 2020b, Skogsindustrierna 2020, Cowie m fl 2021*), beroende på om det är fossilt material eller biomassa som avses. ”Svarta” och ”gröna” kolatomer kan liknas med de olika metaforer som förekommer i kampanjer⁹ eller narrativ om dagens skogsnäring som grön och klimatnyttig (jfr Holmgren m fl 2022). Även om beskrivningar som dessa kan tas som förenklingar, ger de lätt en överdrivet positiv bild av skogsbruket och dess klimateffekt.

En kolatom är en kolatom. Klimateffekten av en ”fossil” koldioxidmolekyl och en ”biogen” koldioxidmolekyl är densamma. Koldioxid fångas upp genom fotosyntesen och lagras i skogen på samma sätt, oavsett hur kolatomen en gång i tiden hamnade i atmosfären. På samma sätt som koldioxid från kol, olja och naturgas, innebär koldioxid som släpps ut från skogen en nettoökningseffekt på koldioxidhalten i atmosfären under lång tid, innan den tas upp i något landbaserat ekosystem eller i havet någonstans på jorden. Vid en förstärkt kolsänka i skogen – alltså när tillväxten överskrider avgångarna – är det inte heller bara ”gröna” kolatomer utan även ”fossilt” kol som fångas in i kolsänkan.

Ett annat argument för att skogen skulle vara så kallat kolneutral som ibland åberopas är det så kallade landskapsperspektivet. Det handlar om att summera kolbalansen i alla lokaliteter inom ett större område. Utsläpp och upptag som varierar mellan bestånd som ligger i olika faser antyds då kompensera för varandra (t ex Bergh m fl 2020a, 2020b, Cowie m fl 2021*). Men även om en del av bestånden kan vara starka kolsänkor, finns det oundvikligen samtidigt områden med lägre upptag eller till och med nettoutsläpp vid och efter avverkning. Det innebär att landskapet sammantaget har en kolbalans som är sämre än vad som skulle kunna uppnås med andra sätt att bruka skogen. I Sverige har i genomsnitt 250 000 ha skog slutavverkats årligen, under perioden 2017–2021¹⁰. Det motsvarar att vid varje tid

⁹ T ex den fleråriga kampanjen Svenska skogen, som lanserades 2017 av stora skogliga näringslivsaktörer (<https://kampanj.schibsted.se/svenskaskogen/> Se även <https://schibstedforbusiness.se/case/svenska-skogen/>

¹⁰ <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/atgarder-i-skogsbruket/>

är – till exempel – cirka 10 procent av skogen på den produktiva skogsmarken yngre än 10 år, och 20 procent yngre än 20 år. En stor del av den produktiva skogsmarken kan därmed antas ha nettoutsläpp som följer från kalhuggning (se avsnitt 4.6).

Skogliga biobränslen beskrivs ofta som ”kolneutrala” eller ”klimatneutrala”. Det handlar främst om avverkningsrester, skogsindustrins restprodukter och även slutanvända produkter som bränns upp. När man diskuterar klimatnyttan av biobränslen är tidsdimensionen ändå central (t ex EASAC 2017, 2018, Birdsey m fl 2018, Norton m fl 2019). Det är först när lika mycket skog som avverkats för uttag av träråvaran åter vuxit upp, som nettoutsläppen effektivt är noll, vilket handlar om lång tid. Även avverkningsrester som används för energiändamål har en tidsrelaterad problematik. De skulle förmultna och avge kol även om de lämnades kvar i skogen, men detta tar längre tid jämfört med när de avlägsnas och bränns upp – då påskyndas kolavgången, vilket ökar avverkningens negativa klimateffekt under några årtionden (Guest m fl 2013, Repo m fl 2015).

Eventuell så kallad kolneutralitet på lång sikt när skogen som avverkades har vuxit åter, innebär inte att avverkningen av skog är klimatneutral, eftersom utsläppen från användning av skoglig bioenergi sker ”ögonblickligen”, och livscykeln hos många träprodukter klingar av snabbare än skogen växer. Det tar lång tid innan samma kolmängd som avverkades har lagrats in i den nya skog som etableras efter avverkningen (Cherubini m fl 2011, Repo m fl 2015), och under den tiden påverkas klimatet. Över vilken tidsperiod eventuell klimatneutralitet gäller beror även på substitutionsnyttan. Här finner man i beräkningar och studier ansatser med olika tidsdimensioner, rumsliga omfattningar och systemperspektiv (t ex Bentsen 2017, Cowie m fl 2021*), med och utan livscykelperspektiv, olika produkter, och så vidare. I många fall saknas full hänsyn till de tidsperspektiv som klimatmålen och klimatomställningen handlar om – de närmaste decennierna är avgörande – (Ter-Mikaelian m fl 2015*, Norton m fl 2022), samt jämförelser med en kolsänkas klimatnytta, eller den nytta man hade kunnat få genom en annan användning av träråvaran.

”Gröna” kolatomer och det så kallade landskapsperspektivet är inte särskilt relevanta för klimatneutralitet eller klimatmålen, i synnerhet inte på kort och medellång sikt (det vill säga under en tidsperiod upp till flera årtionden). Att beskriva skogsbruket som ”kolneutralt” och än mer ”klimatneutralt” undgår brådskan med klimatomställningen, och motsvarar ett underutnyttjande av skogens möjliga klimatnytta. Begreppen riskerar därmed att bli missvisande.

4.5 Skogens klimatnytta handlar om mer än en referensutveckling

Huruvida man kan argumentera om kolneutralitet, klimatneutralitet, nettoutsläpp eller en viss klimatnytta påverkas av vilka systemgränser man drar över olika tidsperioder, geografiskt eller kring samhällssektorer. Olika betraktelser kan

komplettera varandra så länge de är transparenta. Annars uppstår det lätt missförstånd och konflikter, i värsta fall motverkas möjliga åtgärder.

Klimatfrågan handlar om klimatets förändring jämfört med den förindustriella tiden. De ökande växthusgasutsläppen från användning av fossila bränslen och från avskogning ökar halten växthusgaser i atmosfären, vilket leder till en global uppvärmning och andra förändringar i klimatsystemet. Vad som utgör klimatnytta visavi klimatmålen handlar om konkreta åtgärder som minskar nettoutsläppen. Åtgärder utgår från en baslinje i klimatpolitiken och mäts i relation till exempelvis referensår, referensnivå och/eller referensutveckling.

Klimatmål är ofta angivna som utsläppsminskningar jämfört med ett basår (t ex 1990). Basår används även för målen för kolsänkor, men de sätts ofta även utifrån en referensutveckling som skulle följa från en fortsättning av etablerad användning av skogen, skogens åldersstruktur och så vidare. Detta återspeglar hur klimatmålen är utformade och att de förutsätter aktiva åtgärder. Såväl baslinjer som exempelvis referensutveckling finns med i de globala målen i Parisavtalet 2015, i beräknade kolbudgetar i EU:s gemensamma klimatmål och i Sveriges nationella klimatmål. De svenska nationella klimatmålen avser en minskning av direkta utsläpp, där en förstärkt kolsänka eventuellt kan bidra med ”kompletterande åtgärder”. När det kommer till skogen som kolsänka är den befintliga kolsänkans värnande en förutsättning och utgångspunkt för klimatnytta. Att öka kolsänkan minskar de nettoutsläpp som klimatmålen avser, medan att minska kolsänkan har motsatt effekt.

Den totala kolsänkan omfattar dels den naturliga kolsänkan som skogen utgör som en del av den globala kolcykeln, dels det som tillkommer genom effekten av aktiva åtgärder relativt basåret och/eller referensutvecklingen. En stor del av kolsänkan i skogen är varken globalt eller i ett enskilt land direkt kopplad till skogsbruket eller dess klimatnytta utan handlar om naturliga eller indirekta mänskliga effekter, vilka redan är medtagna i beräkningen av klimatmålen. Det som kan räknas som klimatnytta visavi klimatmålen är det som tillkommer som ett resultat av åtgärder *utöver* fortsatt och oförändrad användning av skogen på samma sätt som tidigare (se faktaruta 3).

FAKTARUTA 3. Bokföring av upptag och utsläpp relaterade till skogen.

Hur upptagen och utsläppen bokförs kan påverka och komplicera hur olika sektors klimatpåverkan och skogens klimatnytta diskuteras. Hur stora de svenska skogsrelaterade upptagen och utsläppen är sammanställs årligen av Naturvårdsverket med information från bland annat SLU och Skogsstyrelsen (Naturvårdsverket 2023a). Kolpoolerna som följs upp är levande biomassa (avser träd) och marken (mineraljord och organogen jord), träprodukter och dött organiskt material. Sammanställningen följer de metodriktlinjer som FN:s klimatpanel IPCC tar fram (Domke m fl 2019). Det möjliggör jämförbara underlag från olika länder till FN:s klimatkonvention. Det finns viss flexibilitet i hur riktlinjerna kan tillämpas, till exempel beroende på hur mycket data som finns att tillgå. Eventuella uppdateringar av hur riktlinjerna tillämpas föranleder att hela tidsserien ska räknas om för att den ska förbli jämförbar mellan åren. Dessa nationella sammanställningar separerar inte effekter av direkta åtgärder som påverkar kolsänkan från andra effekter. De sistnämnda, till exempel klimatiförändringens påverkan på tillväxten, är däremot inkorporerade i själva klimatmålen, exempelvis att de globala koldioxidutsläppen behöver halveras till år 2030 vad gäller 1,5-gradersmålet. Naturliga kolsänkor har redan dragits av från dessa utsläppsmål (t ex Grassi m fl 2021a, se även Friedlingstein m fl 2022).

Det är viktigt att värna också den naturliga delen av kolsänkan, eftersom det är en förutsättning i beräkningen av utsläppsminskningar för ett givet klimatmål. Detta gör dock också att nationellt inventerade kolsänkor inte direkt kan jämföras med beslutade klimatmål, det skulle innebära en dubbelräkning (jfr Grassi m fl 2018). Inventeringen avser alla utsläpp och upptag i skogen, varav endast en del härrör sig från direkta åtgärder och bidrar till utsläppsminskningarna. Om exempelvis den svenska skogen binder 40 miljoner ton koldioxid ett visst år enligt utsläppsrapporteringen, är det inte aktuellt att jämföra allt detta med rapporterade utsläpp från exempelvis transporter.

Utsläppen och upptagen som berör skogen hanteras inom markanvändningssektorn även när de egentligen hänger ihop med användningen av träråvara i energi- och industrisektorer, vilket inte är helt intuitivt. Detta är ett val, som enligt till exempel Camia m fl (2021*, s. 86) i alla fall delvis beror på att träåvaruflöden till energisektorn är komplicerade. Därför bokförs utsläppen som motsvarar minskningen i kolinlagringen på skogsmark omgående på markanvändningssektorn när virke (grot; grenar och toppar – avverkningsrester, eller industrins restprodukter) används som (bio)energi. Utsläpp vid användning av biobränslen inom energi- och industrisektorer bokförs som noll för att undvika dubbelräkning. Om träåvaran används för produkter, så förs kolinlagringen först från skogen till produkterna. Utsläppen motsvarande det kol som avlägsnades från skogen bokförs sedan i takt med att produkterna används¹¹.

Inom EU används skogliga referensnivåer (se Europeiska kommissionen 2020a) som referensutveckling för femårsperioden 2021–2025. Dessa utgår från den faktiska skogsutvecklingen 2000–2009, på vilken läggs en fortsatt tillväxteffekt. Den del av den årliga kolsänkan som överstiger referensnivån bidrar till utsläppsminskningarna. Omvänt gäller att om referensnivåerna skulle understigas, då uppstår en utsläppsskuld som behöver återbetalas till exempel genom större utsläppsminskningar inom andra sektorer. För nästa femårsperiod

¹¹ Halveringstiderna för sågade varor, träbaserade skivor och pappersprodukter är 35, 25 och 2 år. Hur kolinlagringen klinger av kan illustreras med att av det kol som under perioden 1992–2015 hade flyttats från skogen till långlivade produkter fanns år 2015 globalt sett mindre än hälften kvar i dessa (Zhang m fl 2020).

2026–2030 finns däremot mål om förändringar i kolsänkan relativt perioden 2016–2018. Det är förstås mycket angeläget att värna den underliggande naturliga kolsänkan och kolinlagringen, men det är också viktigt att kunna skilja mellan den och den kolbalans som i slutänden har effekt på de beslutade klimatmålen, i samtal om skogens klimatnyttor.

4.6 Klimatnyttans tidsperspektiv avgörande

Klimatmålen på kort och medellång sikt, till exempel för 2030 och 2050, är avgörande för möjligheten att begränsa den globala uppvärmningen till förhållandevis låga nivåer, som 1,5 eller 2 grader på lång sikt. Det behövs givetvis klimatåtgärder och klimatnytta även bortom 2050, men målen på längre sikt är helt enkelt starkt beroende av hur målen i närtid klaras av. Tidshorisonten är därför en central aspekt vid jämförelser mellan klimatnyttan från kolsänkor och från substitution. En viss klimatnytta i närtid har en annan effekt än om den uppstår först på längre sikt. Den kvarvarande kolbudgeten (se faktaruta 1) går snabbt åt, och de kumulativa utsläppen är avgörande för hur stor uppvärmningen blir som mest, och därmed för klimatförändringens effekter.

Det är vedertaget att skogens kolsänka varierar med skogens ålder. Kolsänkan är negativ på kalhyggen, liten i nyetablerad skog, och ökar när skogen växer till, för att på längre sikt minska när skogen blir biologiskt sett äldre.

Att kalhyggen följs av nettoutsläpp under ett antal år är väletablerat, liksom att det tar några årtionden till innan dessa nettoutsläpp är kompenserade med lika stora kumulativa upptag när skogen växer till (t ex Rebane m fl 2019*). Studier från de senaste åren bekräftar att det tar lång tid innan en effektiv kolsänka uppstår efter kalhuggning. Peichl m fl (2023a, 2023b) undersökte ett 50-tal bestånd av produktionsskog i norra Sverige. Några hade avverkats nyligen, för upp till 20–25 år sedan. Bortsett från ett 7-årigt bestånd hade dessa yngre bestånd återfått en positiv kolbalans. Det tog cirka 18 år innan de inledande nettoutsläppen efter avverkningsen hade kompenserats med motsvarande nettoupptag. Lindroth (2023) har påpekat att studien inte inkluderade nyetablerade bestånd efter de första åren efter avverkning, när nettoutsläppen är som störst. Han beräknar att tiden till nettoollutsläpp efter avverkning skulle vara dubbelt så lång, knappt 40 år. Grelle m fl (2023) undersökte i sin tur fem bestånd i södra Sverige. Dessa hade kalhuggits eller drabbats av vindfällning. Resultaten visade inledande nettoutsläpp under cirka 10 år, följt av nettoupptag. Det tog ungefär 20 år innan de kumulativa nettoupptagen balanserade de inledande nettoutsläppen. Resultaten varierade en del mellan bestånden, vilket tillskrevs skillnader i bonitet (skogsmarkens bördighet), trädslag och hur mycket hyggesrester som avlägsnades.

Utöver att kolsänkan (det vill säga det årliga nettoupptaget) minskar vid avverkning avlägsnas också kol som under skogens tillväxt lagrats in i skogen. Eftersom det tar lång tid innan kollagren i skogen har fyllts på, är det avgörande för klimatnyttan hur avverkat virke används, och i praktiken handlar frågan om ”största möjliga klimatnytta” om hur kolsänkan och produkter som kommer av den uttagna

träråvaran kombineras på bästa sätt. Här behöver man jämföra klimatnyttan från en viss avverkning och produktmix med hur kolsänkan på skogsmark hade utvecklats om en avverkning inte hade gjorts – alternativnyttan (Birdsey m fl 2018, Soimakallio m fl 2022*).

Ett centralt koncept i detta sammanhang är kolskuld ("carbon debt"). Den avser skillnaden i klimatnytta mellan skogen som bibehållen kolsänka och avverkningens klimateffekt som består dels av minskad kolsänka, dels av produkters eventuella klimatnytta. Eftersom mycket av kolet från skogen omsätts som bioenergi och kortlivade produkter, och motsvarande kolinlagring i skogen tar tid, så är en kolskuld på beståndsnivå ofrånkomlig vid avverkning. Tiden det tar att fånga in samma mängd kol i ny skog som avlägsnades vid avverkning kallas "carbon debt payback time" (Buchholz m fl 2016). Ibland argumenteras det för att kolskulden kan försvinna om man utgår från ett landskapsperspektiv. Paritet ("parity") uppnås dock inte ens då, det vill säga hur lång tid det tar för nyetablerad skog att ta upp koldioxid motsvarande kolskulden plus de upptag som hade skett om avverkning inte hade ägt rum utan den stående skogen hade fortsatt växa (t ex Nabuurs m fl 2017a). Avverkningens sammanlagda klimateffekt inklusive substitution jämförs alltså med klimatnyttan av den kolsänka som hade funnits om avverkningen hade uteblivit. Att eventuellt uppnå paritet¹² tar längre tid än att betala kolskulden. Att beakta paritet sätter mer press än kolskuld på att träråvaran från skogen används för högsta möjliga substitutionsnytta, vilket utmanar bruket av skogsbaserad bioenergi och produktionen av kortlivade produkter, jämfört med till exempel produktion av konstruktionsvirke.

Avverkningens effekter på kolsänkans och kolinlagringens utveckling innebär således ett minsta krav på substitutionsnyttors storlek, i relevanta tidsperspektiv, för att avverkning skulle kunna vara klimatmässigt försvarbar. De substitutionsnyttor som dagens produkter från skogen levererar kan enligt flera studier inte kompensera för den negativa klimateffekt som ökad avverkning medför på kolsänkan (Seppälä m fl 2019, Kalliokoski m fl 2020, Skytt m fl 2021, 2022). Vidare visar flera studier att minskad avverkning skulle öka den sammanlagda klimatnyttan (Heinonen m fl 2017, Schulte m fl 2022, Seppälä m fl 2022).

Mycket talar alltså för att ökad avverkning inte skulle öka skogsbrukets klimatnytta, i alla fall inte om träråvaran användes till samma produktmix som idag. På motsvarande sätt finns det mycket som talar för att klimatnyttan inte minskar vid minskad avverkning. Vid en given avverkningsnivå skulle en annan användning, med mer vikt på långlivade produkter och/eller högre substitutionsnytta, ha potential för ökad klimatnytta.

Beräkningar av den sammanlagda klimatnyttan från kolsänka och substitution ger återkommande resultatet att ökad kolsänka genom exempelvis minskad avverkning ger stor klimatnytta redan på kort och medellång sikt (dvs. under flera årtionden).

¹² Med tanke på det som gäller för äldre skogen kommer den kumulativa kolinlagringen över tid ändå inte nödvändigtvis helt återhämta sig i ny skog ens under en lång tid (t ex Pingoud m fl 2018).

För att ökad avverkning ska ge mest klimatnytta, behöver tidsperspektivet förlängas betydligt (t ex Pukkala 2018). Gustavsson m fl (2021) jämförde scenarier i vilka hälften av skogsmarken avsattes, alternativt skogsproduktionen ökades markant. I deras studier gav minskad avverkning större klimatnytta än dagens skogsbruk för de första cirka 80 åren av studiens hela 201 år långa tidsspann. Jämfört med ett scenario med ökad produktion, var klimatnyttan av minskad avverkning större för de första omkring 30 åren. Pingoud m fl (2018), Pukkala (2017) och Soimakallio m fl (2022*) kom fram till att kolinlagring i skogen ger större klimatnytta än omsättning av träråvara i samma sorts produkter som idag, även i ett tidsperspektiv på över 100 år. I exempelvis Soimakallio m fl (2022*) minskade kolsänkan i skogen i genomsnitt i 20-, 50- och 100-årsperspektiv med 1,6 ton kol för varje ton kol som togs från skogen som träråvara. Detta överstiger substitutionseffekten för de huvudsakliga produkterna från skogsindustrin. Pukkala (2018) fann att klimatnyttan fördubblades vid minskad avverkning, även när hänsyn togs till substitutionseffekten under minst 300 år. Skytt m fl (2021, 2022) räknade på klimatnyttan av svenska marker med olika produktivitet, vid olika avverkningsnivåer, och med hänsyn tagen till substitutionsnyttor. Minskad avverkning medförde ökad klimatnytta i minst 50–100 år, medan ökad avverkning minskade klimatnyttan oavsett tidsperiod. På europainivå beräknade Pilli m fl (2017) hur minskad (-20 procent), konstant eller ökad (+20 procent) avverkning fram till år 2030 skulle påverka den totala kolinlagringen i skogen, inklusive i långlivade produkter. Detta ledde till en ökning (+23 procent), ganska oförändrad (+3 procent) respektive minskning (-17 procent) av den sammanlagda kolsänkan¹³. Seppälä m fl (2019) beräknade att om avverkningen i Finland ökade med 17–33 procent, då skulle förändringar i träråvarans användning behövas motsvarande en fördubbling av den genomsnittliga substitutionsfaktorn, för att klimatnytta skulle uppstå. Finlands klimatpanel (Seppälä m fl 2022) har gjort samma bedömning.

Studierna tyder alltså på att klimatnyttan av en minskning av kolsänkan genom ökad avverkning skulle vara större än de tillkommande substitutionsnyttorna förknippade med användning av ökade träråvaruuttag med dagens produktmix. Möjligheterna att med ökad – eller dagens höga – avverkning öka klimatnyttan för att bidra till klimatmålen ter sig därmed små (t ex Forsius m fl 2023, Korosuo m fl 2023). Mycket talar för att de nuvarande avverkningsnivåerna inte kan motiveras av klimatnytta – de är redan klimatomöjligt ohållbara. Ökad avverkning skulle ytterligare minska kolsänkan, särskilt på kort och medellång sikt.

Tidsaspekten är alltså central för olika åtgärders klimatnytta. Forskningsresultat visar kolsänkans stora betydelse på kort och på medellång sikt, särskilt fram till omkring 2050 men även i ett 100-årsperspektiv. Med en längre tidshorisont ökar förstås osäkerheten, både när det gäller skogens utveckling och hur substitutionsnyttan påverkas av förändringar inom och utanför skogsindustrin.

¹³ Hänsyn togs till skogens åldersstruktur och störningar, och beskogning. Om beskogningen däremot skulle bromsa in fram till 2030 och frångavs från beräkningen skulle förändringarna bli en minskning av kolsänkan med 9 procent i fallet utan förändringar i avverkning, med 32 procent i fallet med en ökning i avverkningen och en ökning av kolsänkan med 15 procent i fallet med en minskning i avverkningen.

5. Trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk

Hur skogen brukas påverkar både kolsänkan och tillgången till träråvara. I vår del av världen kan man lite förenklat skilja mellan trakthyggesbruk med kalhuggning (eller så kallat rotationsskogsbruk) och olika former av hyggesfritt skogsbruk. Kalhuggning och hyggesfritt ställs ofta mot varandra i debatten, med jämförelser gällande produktion och biologisk mångfald. Det finns emellertid även vissa skillnader i klimatnytta mellan dessa båda metoder. Skillnaderna är särskilt uppenbara vad gäller skogsbruk på dikade torvmarker.

Både trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk används i Europa. I Norden var hyggesfritt normen längre tillbaka i tiden. Pendeln svängde till trakthyggesbruk med kalhyggen i mitten av 1900-talet. Hyggesfritt skogsbruk idag skiljer sig från hur det tillämpades tidigare, och har fått alltmer uppmärksamhet under de senaste åren, inte minst kopplat till ökat fokus på biologisk mångfald.

Begreppen som avser olika skogsbruksmetoder går delvis in i varandra: trakthyggesbruk sker inte alltid med kalhyggen, och den svenska definitionen av hyggesfritt skogsbruk omfattar både visst trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk. Det finns även andra begrepp som förekommer i utveckling av policy och praktik, till exempel ”naturnära skogsbruk”. Naturnära skogsbruk ska både beakta produktion och miljö. Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket (2023) har föreslagit att det ska definieras så här: ”Ett naturnära skogsbruk efterliknar naturliga störningar, skapar variationsrika skogar och stärker miljövärden i skogslandskapet. Brukandet sker utifrån ett landskapsperspektiv och inkluderar anpassat trakthyggesbruk, hyggesfritt skogsbruk och vissa historiska bruksformer”. Således kan både visst trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk komma att omfattas.

5.1 Det etablerade trakthyggesbruket och hyggesfritt skogsbruks återinträde

Trakthyggesbruket med kalhuggning är ett industriellt sätt att sköta skogen med fokus på produktion av träråvara till skogsindustrin. Det är den absolut

dominerande skogsbruksmetoden, både i Sverige och i Finland. I Sverige används den på nästan hela den produktiva skogsmarken.

Ett kalhygge avser ett område som har slutavverkats på sätt som gör att nästan inga träd finns kvar. Kalhyggen kallas i rotationsskogsbruket för förnygringsytor. Skogsstyrelsen definierar ett hygge som ”förnygringsavverkad skogsmark som är större än 0,25 hektar och där det finns en återväxtskyldighet”.

Hur trakthyggesbruk har gått till över tid har inte varit statiskt, utan med förändringar som bland annat beror på mekaniseringen av skogsbruket och tillkomsten av specifika skogsbruksmetoder, som användning av bekämpningsmedel vilka både introducerats och sedan förbjudits. Det har också introducerats bestämmelser och praxis som avser att minska negativa effekter på biologisk mångfald. Motsvarande bestämmelser finns inte gällande hänsyn till skogens klimatnytta. Till skillnad från utsläppsminskningsmålen i Sveriges klimatpolitiska ramverk, finns det inte nationella klimatmål som avser kolsänkan.

Hyggesfritt skogsbruk är utbrett i andra delar av Europa, där omkring 25–30 procent av skogen sköts med sådana metoder (Mason m fl 2022), dock med avsevärda skillnader mellan länder. När det hänvisas till hyggesfritt skogsbruk idag, kan det inte jämföras med den blädning som tillämpades under årtiondena runtomkring förra sekelskiftet, utan stor hänsyn till tillväxt och förnygring. Dagens hyggesfria metoder är flera och ger en bättre tillväxt och produktion. Idag brukas en väldigt liten del av den svenska och den finska skogsmarken med hyggesfria metoder. I Sverige handlar det om 3 procent av den produktiva skogsmarken (Skogsstyrelsen 2021a), mycket tack vare enskilda skogsägares initiativ på sina fastigheter.

Hyggesfritt skogsbruk handlar därmed om brukande utan att skogen kalavverkas. Skogsstyrelsens (2021b) definition av hyggesfritt skogsbruk är ”hyggesfritt skogsbruk på skogsmark med produktionsmål innebär att skogen sköts så att marken alltid är trädbevuxen, utan att det uppstår några större kalhuggna ytor.” Begreppet kontinuitetsskogsbruk används ibland synonymt, även om det egentligen avser kalhyggesfritt bruk av skog som inte avverkats tidigare, eller som har haft trädäckelse under en lång tid (dvs. kontinuitetsskog). Därtill finns andra relaterade definitioner, t ex från certifieringsorgan som FSC.

Den svenska definitionen av hyggesfritt skogsbruk omfattar enligt Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket (2023) metoder som omfattar blädningsbruk (t ex i fullskiktade granskogar) – vilket innebär att enskilda träd avverkas successivt när de nått önskad storlek eller andra egenskaper –, luckhuggning (max 0,25 hektar avverkas) och högskärmar (för tall, med viss bibehållen täthet). Definitionen överlappar därmed med vissa metoder i trakthyggesbruk, inom vilket luckhuggning och högskärmar kan förekomma. Vilken metod som är tänkbar och hur den tillämpas varierar mellan bestånd och plats.

Hyggesfritt skogsbruk har på senare tid börjat lyftas fram som ett reellt alternativ till rotationsskogsbruk. I Finland angav regeringen 2020¹⁴ att andelen av hyggesfritt skogsbruk i den finska statens skogar ska öka till 25 procent av förnyelseavverkningar¹⁵. Detta har också infriats, och till och med överträffats, årligen mellan 2020 och 2023 (Forststyrelsen 2024). Enskilda skogsägare visar intresse och fler skogsägare har också börjat med hyggesfria metoder (t ex Haltia 2022). Även stora skogsbolag, både i Sverige och i Finland, anger att de överväger hyggesfritt skogsbruk, men än så länge med begränsat genomslag. I Sverige har Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket (2023) föreslagit att i den statligt ägda skogen skulle 20–25 procent av brukandet ske med hyggesfria metoder. Myndigheterna har även lagt fram förslag om forskning, kompetensutveckling, rådgivning och styrmedel för att skapa förutsättningar för en bredare övergång till hyggesfritt skogsbruk på lämpliga marker, både hos staten och enskilda skogsägare.

5.2 Jämförelser mellan skogsbruksslagen

Trakthyggesbruket har under lång tid varit den dominerande skogsbruksmetoden i Sverige, så det är inte konstigt att det finns många experiment och studier kring detta. Men även om en betydande del av Sveriges skogsmark redan har hunnit kalhuggas någon gång, rör det sig än så länge ofta inte om mer än upp till ett par rotationer. Det innebär att kunskapen om eventuella långsiktiga effekter av kalhuggning, exempelvis på mark och på biologisk mångfald, måste betraktas som begränsad.

För hyggesfritt skogsbruks del finns en del upprättade observationsområden och antalet studier har efterhand börjat öka (t ex Routa och Huuskonen 2022*). Hyggesfritt skogsbruk har visats ha fördelar vad gäller biologisk mångfald, ekosystemtjänster och andra nyttor (t ex Hertog m fl 2022). Resultat från jämförelser mellan trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk som rör kolsänkan och skogens sammanlagda klimatnytta varierar, vilket i alla fall delvis återspeglar att dessa studier har undersökt olika typer av bestånd, haft olika antaganden om avverkningsintensitet, med mera (jfr Peura m fl 2022, Repo m fl 2022). Många studier kommer fram till att den totala produktionen är något mindre vid hyggesfritt än trakthyggesbruk (10–20 procent enligt Lundqvist 2017*), men produktionen kan också vara jämförbar mellan de två skogsbruksslagen över tid (Kellomäki m fl 2019, Ekholm m fl 2023*).

Sonesson m fl (2017) rapporterade om tre scenarier med olika mycket hyggesfritt skogsbruk. I två av scenarierna antogs en form av hyggesfritt – blädning – på 10 respektive 30 procent av granskogen. I det tredje scenariot antogs även förnygring av tall-, bland- och lövskog under överhållen högskärm på all skogsmark. Vidare antogs att blädningsbruk skulle minska produktionen med 10–20 procent jämfört

¹⁴ https://valtioneuvosto.fi/-/10616/metsahallitukselle-uudet-omistajapoliittiset-linjaukset?languageId=sv_SE

¹⁵ ”Förnyelseavverkning” är en finsk term för det som i Sverige kallas förnygringsavverkning.

med trakthyggesbruk. Vid fallet överhållen tallskärm antogs att produktionen skulle minska med 20 procent. Tillgången till träråvara påverkades förstås i motsvarande grad, i synnerhet massaved och avverkningsrester (grot). ”Kostnader för skogsvård” angavs minska vid hyggesfritt skogsbruk, men hur de fördelades angavs inte närmare. Risker relaterade till stormskador och granbarkborrar samt snytbaggar var generellt också mindre vid hyggesfritt, medan drivningsrelaterade skador och risk för rotröta uppskattades som större. Scenarierna med hyggesfritt brukande visade sidonyttor gällande biologisk mångfald, vilt, rekreation och rennäring.

Lönsamhet är naturligtvis en relevant aspekt för skogsägaren. Enbart skillnader i virkesproduktion ger dock inte fullgoda underlag för jämförelser mellan olika skogsbrukslags ekonomiska nytta. Kostnader för nyetablering, gallring, avverkning och andra åtgärder kan skilja sig åt, liksom riskerna förknippande med skogens sårbarhet för skador. Det lyfts även fram att hyggesfritt kan öka andelen grövre virke som inbringar ett högre pris, och att intäkterna kommer med ett jämnare flöde. Med hyggesfritt skogsbruk kan flera och större värden skapas för biologisk mångfald, rekreation, naturturism samt renskötsel. Hur dessa samhällsnyttor värderas, tillsammans med virkesvärdet, skötselkostnader och kalkylränta kan ha betydelse för skogsbrukets lönsamhet (Tahvonen 2022). Resultat av olika jämförelser kan också skilja sig för specifika tillväxthållanden och med skogens aktuella tillstånd vid början av en jämförelse. Det kan handla om hur skogen ser ut när hyggesfritt skogsbruk ska introduceras (ungskog eller äldre enskiktad skog) och vilken (trakthyggesbruks)fas skogen är i (Kellomäki m fl 2019, Vítková m fl 2021, Fahlvik m fl 2024).

Tahvonen och Rämö (2016) (se även Tahvonen 2020) jämförde lönsamheten mellan trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk vid olika kalkylräntor och nyetableringskostnader för gran. Trakthyggesbruk visade sig vara ekonomiskt fördelaktigt förutsatt låg kalkylränta (1 procent) och mycket låga nyetableringskostnader. Vid högre kalkylräntor blev hyggesfritt brukande snabbt det ekonomiskt optimala. Brytpunkten i termer av kalkylränta och nyetableringskostnader inträffade senare på mer produktiva marker, än på mindre produktiva marker.

Det ekonomiska utfallet för trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk kan skilja sig åt mellan olika aktörer, som skogsindustrin och skogsägaren, eftersom avverkningsvolymen och sortiment kan påverkas, till exempel tillgång till massaved och grot (Sonesson m fl 2017). Att hyggesfritt kan öka både andelen och mängden grövre virke kan bidra till större substitutionsnytta jämfört med avverkning av massaved (Kellomäki m fl 2019). Både skogsägarens ekonomi och det samhällsekonomiska värdet kan bli högre vid hyggesfritt, även om tillväxten skulle vara mindre än vid trakthyggesbruket (Kotiaho m fl 2022). Om skogsägare fick ekonomisk ersättning för kolinlagring och/eller andra nyttor från skogen kan skogsägarens avkastning vid hyggesfritt skogsbruk öka ytterligare, jämfört med trakthyggesbruk.

Studier av kolilagringen i mark vid olika skogsbruk är förhållandevis få och också svåra att jämföra på grund av olika antaganden om exempelvis avverkningens intensitet (Mason m fl 2022). Vid kontinuitetsskogsbruk minskar problematiken med att skogens kolsänka vänds, skogen blir inte en källa till utsläpp av kol på motsvarande sätt som efter kalhuggning.

På samma sätt som för den ekonomiska avkastningen ger ett ensidigt perspektiv på produktion (med substitution) inte ett fullgott mått på skogens eller skogsbrukets klimatnytta. Klimatnyttan värderades i Sonesson m fl (2017) endast i termer av virkesproduktionen. Lundmark m fl (2016, även återgivet av Hannerz m fl 2017) jämförde klimatnytta sett över en tidsperiod på nästan 300 år vid trakthyggesbruk respektive kontinuitetsskogsbruk, i granbestånd i Mellansverige. Markkolet antogs utvecklas på samma sätt i båda fallen. Klimatnyttan bestod främst av modellerade substitutionsnyttor. Den följde produktionen och var större vid trakthyggesbruk. Den genomsnittliga årliga kolsänkan i stående skog blev också större i trakthyggesbruksfallet, men det berodde snarare på att simuleringen stoppades strax före en slutavverkning, inte att kolbalansen hade visat sig vara bättre än i hyggesfritt.

I en studie av Kellomäki m fl (2019) visade sig den totala kolsänkan i levande biomassa och avverkat virke vara ungefär densamma vid trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk. Däremot var kolinlagringen i marken, och därmed sammantaget på skogsmarken, mindre vid trakthyggesbruket. Nilsen och Strand (2013) konstaterade inte några väsentliga skillnader i markkol mellan skogsbruksalternativen för granbestånd i södra Norge. Studien omfattade inte kolbalanser vid avverkning. En tidigare norsk genomgång (Dalsgaard m fl 2015*) kom också fram till att skillnaderna i markkol vid hyggesfritt respektive kalhuggning är osäkra över längre tidsperioder. För kalhuggningens del finns samtidigt studier som visar betydande minskat markkol efter avverkning (James och Harrison, 2016*), ner till en meters djup (minskningar med drygt 11 procent sett över studierna). Markkolets återhämtningstid handlade om flera årtionden, upp till över 100 år i mineraljord.

Skogsstyrelsen (2021b) bedömde tidigare att skillnader i klimatnytta vid hyggesfritt skogsbruk som "likvärdig eller något lägre" jämfört med skogsbruk med hyggen. Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket (2023) har dock sedan dess analyserat hinder och möjligheter för hyggesfritt skogsbruk. För klimatnyttans del berördes i analysen både kolsänkan och virket. Det anges bland annat att resultaten av hur blädning respektive trakthyggesbruk påverkar kolbalansen varierar, att blädning kan minska tillväxten något jämfört med trakthyggesbruk, och att nettoutsläppen efter kalhuggning uteblir vid hyggesfritt.

Sammantaget finns aspekter av klimatnyttan som kan skilja sig mellan trakthyggesbruk med kalhuggning och hyggesfritt skogsbruk. Dessa berör virkesproduktion (jfr möjlighet till substitution), kolsänkan i levande biomassa och kolsänkan i marken. Medan ekonomin i trakthyggesbruk med kalhuggning gynnar inte minst industrin kan hyggesfritt skogsbruk gynna skogsägaren och samhället.

Den långsiktiga totala kolinlagringen vid hyggesfritt ter sig inte slående annorlunda än trakthyggesbruk, även om det är osäkert hur markkolet utvecklas under de olika formerna av skogsbruk, inte minst under längre tid. Antaganden om avverkningsintensitet och vilken skog och mark det handlar om, inte minst under tillväxtfasen, har betydelse för hur olika jämförelser mellan de olika skogsbruksslagen faller ut. Antaganden om substitutionsnyttor och tidshorisont är förstås centrala även här för slutsatser om klimatnyttan, med tanke på skillnaderna i hur mycket virke som tas ut, vilket sorts virke det är och när det sker.

5.3 Skogsbruk på dikade torvmarker

Klimatnyttan av hyggesfritt skogsbruk, jämfört med trakthyggesbruk med kalhyggen, ter sig främst påtaglig på dikade torvmarker (Rautio m fl 2023). Dikad torvmark som det bedrivs skogsbruk på omfattar omkring 5 miljoner hektar i Finland, och cirka 1 miljon hektar i Sverige. Dessa marker har betydande växthusgasutsläpp; sammantaget drygt 20 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år i Finland och cirka 7 miljoner ton per år i Sverige. Hur skogen utvecklas och brukas på dessa marker kan därmed ha betydande genomslag på klimatutsläppen. Dikning leder till sänkt grundvattennivå, vilket exponerar torvskikt för nedbrytning med koldioxidutsläpp som följd. Återvätning av dikade torvmarker ger en motsatt effekt. Alltför hög grundvattennivå kan dock i sin tur öka metanutsläppen, så det är viktigt att få grundvattennivån rätt. Minkinen m fl (2020) analyserade mätningar från flera finska lokalteter. Deras resultat visade både att näringsrika dikade torvmarker hade högre utsläpp av lustgas än naturliga torvmarker, och att återvätning ledde till att utsläppen minskade och gick tillbaka till den (låga) naturliga nivån.

Grundvattennivån stiger vid avverkning, och sänks när skogen växer upp. Leppä m fl (2020a, 2020b) observerade hur förändringar i grundvattennivån ökade med avverkningsintensiteten i granskog på näringsrika dikade torvmarker i Finland. Med hyggesfritt skogsbruk är grundvattennivån mer stabil, jämfört med trakthyggesbruk med kalhuggning (jfr Laudon och Hasselquist 2023). För skogsägarens del skulle lägre kostnader för dikesrensning och föryngring kompensera för eventuellt lägre produktion på dessa marker om de brukades hyggesfritt. Hyggesfritt skogsbruk på näringsrika torvmarker skulle också främja andra nyttor, till exempel god vattenkvalitet (jfr Nieminen m fl 2018*).

Korkiakoski m fl (2023) gjorde mätningar på näringsrik dikad torvmark före och efter dels hyggesfri avverkning, dels kalhuggning, i södra Finland. Mätningarna sträckte sig från sex år före avverkningarna till sex år efter. I båda fallen omvandlades skogsmarken vid avverkning från att ha varit utsläppsneutral (utsläppen från marken kompensterades av kolsänkan i träden) till att visa nettoutsläpp. Koldioxidutsläppen var betydligt större efter kalhuggning än efter hyggesfri avverkning. I det hyggesfria fallet återgick skogsmarken till nettosänka

redan efter tre år, medan skogsmarken i det kalhuggna fallet fortfarande var en nettokälla när mätningarna avslutades.

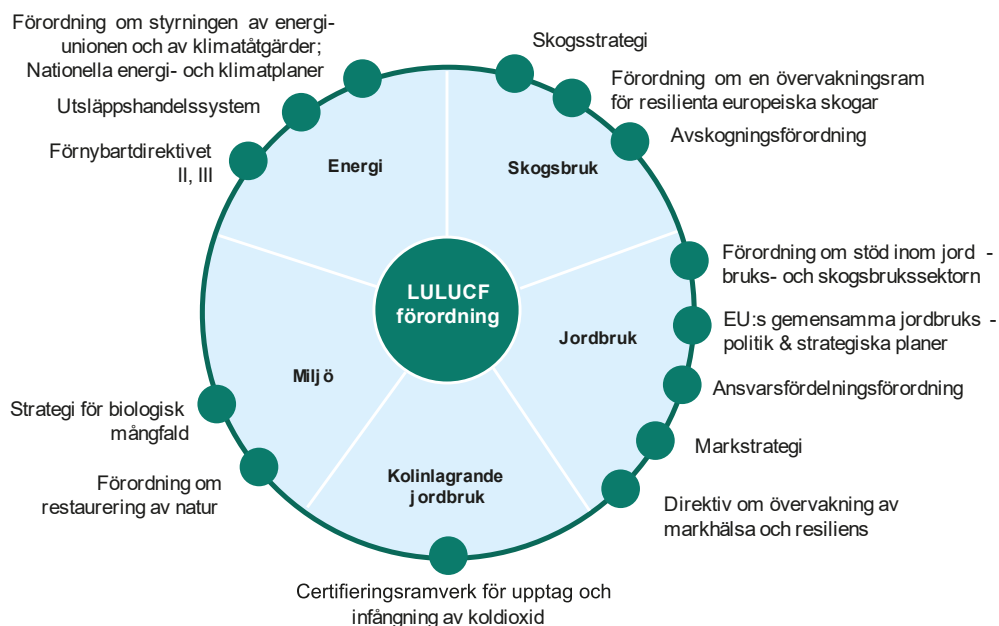
En övergång från kalhuggning till hyggesfritt på näringsrika dikade torvmarker skulle kunna leda till en betydande minskning av nettoutsläppen i Finland, med ca 1 miljon ton koldioxid per år (Lehtonen m fl 2023). Ökad klimatnytta uppstod i studien även om avverkningen ökade på andra marker i motsvarande utsträckning som den minskade på dikade torvmarker.

På näringsrika dikade torvmarker visar kunskapsläget alltså att hyggesfritt brukande kan ge betydande klimatnytta jämfört med kalhuggning, vad gäller kolsänkan, samtidigt som virkesuttag kan fortsätta. Eventuell ersättning för förstärkt kolsänka skulle ytterligare kunna stärka fördelarna för skogsägaren.

6. Den svenska skogsfrågans och skogspolitikens bredare sammanhang

Skogen befinner sig inte i en egen värld, varken i politiken eller i praktiken. Skogspolitiken har allt viktigare gemensamma beröringspunkter med andra politikområden, i synnerhet närings-, miljö- och klimatpolitiken. I stor utsträckning är det den nationella skogspolitiken som är styrande för hur skogen brukas i relation till uppsatta mål. Gemensamma EU-mål och instrument handlar främst om skogen sett ur perspektiv som klimatfrågan. Om det svenska skogsbruket underpresterar i förhållande till kolinbindningsmålen får det konsekvenser i form av större krav på utsläppsminskning inom andra sektorer.

Inom EU finns gemensamma ”mjuka” styrinstrument, exempelvis strategier för EU-gemensam skogsrelaterad kompetens (jfr Onida 2020). Det finns också viss relevant lagstiftning i och med att andra frågeställningar har kopplingar till skogen (t ex EEA 2023b, Nilsson 2023). Skogen är en del av den större markanvändningsförordningen LULUCF, vilket i sin tur bidrar till den europeiska gröna given och EU:s klimatlag (Europaparlamentet och rådet 2021). Dessa är övergripande ramverk för klimatfrågan. LULUCF diskuteras närmare nedan och den har ett flertal beröringspunkter med andra strategier och ramverk och annan lagstiftning (se figur 3).



Figur 3. Markanvändningsförordningen LULUCF och andra policyinitiativ inom EU. (Efter EEA 2024, figur 7.)

Även i den nationella lagstiftningen berörs skogen av mer än skogsvårdslagen, till exempel Sveriges miljömålssystem som har ett specifikt mål om Levande skogar, om Begränsad klimatpåverkan, och flera andra mål som berör skogen, samt artskyddsförordningen. Även miljöbalken gäller parallellt med skogsvårdslagen (Appelstrand 2007, Skogsstyrelsen 2022a). Jämfört med skogsvårdslagen är miljöbalken bredare och dess bestämmelser ska ses som en miniminivå vad gäller exempelvis hänsynsregler (Appelstrand 2007). Politikens inramning påverkar och påverkas i sin tur även av internationella avtal som Sverige har varit med om att utforma. Gemensamma klimatmål kan knappast nås varken på kort eller på lång sikt utan ökad klimatnytta från skogen (t ex Europeiska kommissionen 2020b, 2020c), vilket till exempel framgår av Parisavtalet från 2015¹⁶ (se även Naturvårdsverket 2020).

¹⁶ Parisavtalet §4.1 ”För att uppnå det långsiktiga temperaturmålet som fastställs i artikel 2 strävar parterna efter att nå kulmen för de globala utsläppen av växthusgaser så snart som möjligt, medvetna om att detta kommer att ta längre tid för de parter som är utvecklingsländer, och därefter genomföra snabba minskningar i enlighet med den bästa tillgängliga vetenskapen för att uppnå en balans mellan antropogena utsläpp av växthusgaser från källor och upptag av växthusgaser i sänkor under andra hälften av detta sekel, på grundval av principen om rättvisa och inom ramen för en hållbar utveckling och ansträngningar för att utrota fattigdom.”

Parisavtalet §5.1 ”Parterna bör vidta åtgärder för att, i förekommande fall, bevara och förbättra sådana sänkor och reservoarer för växthusgaser som avses i artikel 4.1 d i konventionen, inbegripet skogar.”

Parisavtalet §5.2 ”Parterna uppmuntras att vidta åtgärder för att genomföra och stödja, bl.a. genom resultatbaserade betalningar, det befintliga ramverk som fastställts i relevanta riktlinjer och beslut enligt konventionen för: politiska ansatser och positiva incitament för aktiviteter som rör minskning av utsläpp från avskogning och utarmning av skogar och vikten av bevarande av

Skogspolitikens beröringspunkter med politikområden som är EU-gemensamma gör den ofrånkomligen till mer än endast en nationell angelägenhet. Medlemsländerna, inklusive Sverige och Finland, medverkar i framtagandet av EU:s gemensamma mål, mekanismer och styrmedel. Inom ramen för beslutad lagstiftning kan kommissionen därutöver ha mandat att ta fram delegerade akter, efter konsultationer (ett exempel är de skogliga referensnivåerna för 2021–2025).

Att klimatfrågan överlappar med skogsfrågan förkroppsligas i EU:s skogsstrategi och markanvändningsförordningen LULUCF):

- EU:s skogsstrategi (Europeiska kommissionen 1998, 2013, 2021a) är icke-bindande. Den har gjort ett begränsat avtryck i Finland och Sverige (Aggestam och Pülzl 2020, Sotirov m fl 2021). I den senaste skogsstrategin betraktas skogen som en del av klimatomställningen. I strategin påtalas beskogning, skogsrestaurering och skydd, främjandet av hållbar skoglig bioekonomi, långlivade träprodukter, kaskadanvändning av trävaror, olika affärsmodeller och finansiella styrmedel riktade till skogsägare, samt klimatanpassning. Strategin utgår från att skogen fortsätter att brukas och träråvara blir till produkter, men med ökad sammanlagd klimatnytta.
- Markanvändningsförordningen LULUCF (Europaparlamentet och rådet 2018, 2023) handlar om hur kolsänkor bidrar till klimatmålen. Fram till 2025 ska sektorn inte visa nettoutsläpp, och skogens kolsänka ska minst nå upp till respektive lands skogliga referensnivå. Sveriges referensnivå är drygt 38 miljoner ton koldioxidekvivalenter per år och Finlands 29 miljoner ton. Fram till 2030 ska den årliga kolinbindningen i hela EU tillsammans öka till netto 310 miljoner ton koldioxidekvivalenter. Målet delas mellan medlemsländerna utifrån deras respektive areal brukad mark. För Sveriges del gäller en ökning på cirka 4 miljoner ton, jämfört med åren 2016–2018. Det utgör cirka 10 procent av EU:s ökningsmål, och motsvarar omkring 10 procent av Sveriges nuvarande nettosänka. Sveriges ökningsmål i ton koldioxidekvivalenter är den tredje största av medlemsländerna, och Finlands den sjunde.

LULUCF är ett av de många instrument som ska möjliggöra EU:s mål om klimatneutralitet till 2050. Vad som gäller för LULUCF bortom 2050 har inte beslutats än. I underlagsmaterialet till LULUCF diskuteras ändå en ytterligare förstärkning av kolsänkan till 2050, i storleksordningen 400 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Europeiska kommissionen 2021b).

EU:s kolsänka har minskat betydligt under senare år (jfr kapitel 2). Det medför att implementeringsgapet gällande LULUCF-målen har ökat inför både 2025 och 2030 (Hyyrynen m fl 2023). Det syns även i EU:s senaste referensscenario¹⁷ som belyser

skogar, hållbart skogsbruk och förbättring av skogens koldioxidinlagring i utvecklingsländer samt alternativa politiska ansatser, såsom de för kombinerade utsläppsbegränsnings och anpassningsåtgärder för integrerat och hållbart skogsbruk, samtidigt som man bekräftar vikten av att främja nyttor som inte rör koldioxid i anknytning till sådana ansatser när så är lämpligt.” Jfr <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A22016A1019%2801%29>

¹⁷ I referensscenariot tas hänsyn till makroekonomiska och tekniska trender samt trender i bränslepriser, och politiska åtgärder på utvecklingen av energisystem, transporter och annat som påverkar klimatutsläpp. Referensscenariot avser en baslinje för utvecklingen av nya initiativ som

avståndet mellan dels trender och tagna beslut, dels beslutade mål (Europeiska kommissionen 2021c). I scenariot minskar kolsänkan med 12 procent till 2030, jämfört med 2015, och även om den återhämtar sig något därefter, är kolsänkan år 2050 fortfarande 7 procent mindre än 2015, avseende hela markanvändningssektorn. På skogsmark, inklusive träprodukter, minskar kolsänkan 11 procent respektive 14 procent till 2030 och 2050 på grund av ökad avverkning. Detta understryker vikten av förändringar i skogsbruket, och/eller hur träråvara används (Europeiska kommissionen 2021c, Korosuo m fl 2023).

Hur kolinbindningsmålen ska nås är i slutänden upp till varje medlemsland och behöver kopplas till dess nationella politik. EU:s medlemsländers respektive syn, relevanta policys, och praktik, skiljer sig i många avseenden vad gäller skogen, kolsänkan, träråvaran, klimatet och biologisk mångfald (t ex Schulz m fl 2021, ESABCC 2024 kapitel 9, Pecurul-Botines fl 2023). Ett exempel på detta är att de gällande finska respektive svenska nationella klimatmålen är olika formulerade, trots att de eftersökta utsläppsminskningarna är mycket likartade (se faktaruta 4).

FAKTARUTA 4. Skogen i nationell klimatpolitik i Finland och i Sverige.

Även om uppläggen i respektive land är delvis olika är skillnaden i den totala ambitionsnivån för utsläppsminskning liten. I bägge fallen ska de direkta utsläppen minska till nära noll under de nästkommande 20–25 åren. Därtill har bägge länderna lagstadgade mål inom EU:s gemensamma klimatpolitik, inklusive mål för förstärkta kolsänkor.

Sveriges nationella klimatpolitik: Sveriges gällande klimatpolitiska ramverk beslutades 2017. Det finns delmål om utsläppsminskning till 2030 och 2040, och mål om nettonoll utsläpp vid 2045, följt av nettonegativa utsläpp. Det finns inte något nationellt mål om kolsänkan i skogen, men en viss mängd av förstärkta kolsänkor får användas som *kompletterande åtgärder* för att åstadkomma utsläppsminskningen. Att det inte finns något nationellt mål för kolsänkan lämnar möjligheten öppen för att målen kan nås utan att de sammanlagda utsläppen minskar lika mycket. Detta skulle kunna vara fallet om kolsänkan försvagades, vilket skulle öka nettoutsläppen.

Finlands nationella klimatpolitik: Finlands gällande nationella klimatlag trädde i kraft 2022. Den anger utsläppsminskningsmål för 2030 och 2040, och ett uppdaterat mål för 2050. Utsläppen ska minska med 60 procent före 2030 och 80 procent före 2040, jämfört med 1990. Utsläppen ska minska med 90 procent före 2050, även om siktet är på 95 procent. I lagen anges bland annat att kolsänkorna ska stärkas. Sektoriella klimatplaner ska tas fram, bland annat för markanvändningssektorn.

Finland ska vara "klimatneutralt" senast år 2035 med negativa koldioxidutsläpp kort därefter. Skillnaden mot utsläppsminskningsmålen ovan är att med "klimatneutralitet" avses summan av direkta utsläpp och den totala kolsänkan. Vid 2035 får alltså utsläppen vara högst lika stora som sänkorna, efter vilket sänkorna ska överträffa de direkta utsläppen.

utgår från var unionens energi- och klimatpolitik är idag och var den ska vara på längre sikt. Skillnaden är ett mått på gapet mellan beslut och mål.

Även om det finns viss flexibilitet att växla mellan utsläppsminskningar från LULUCF-området och andra sektorer för att leva upp till målen, förväntas sådana möjligheter i praktiken att vara kraftigt begränsade. Detta aktualiserar ytterligare frågan om vilka styrmedel som kan behövas om de nationella målen och EU-målen ska nås (Peltoniemi m fl 2023). I Finland har avståndet på senare år ökat dramatiskt mellan den pågående utvecklingen i skogen och landets klimatmål för kolsänkan, sedan framtagnet¹⁸ av Finlands klimatplan för markanvändningssektorn från 2022 (Jord- och skogsbruksministeriet 2022). I det senaste finska regeringsprogrammet (Statsrådet 2023) anges att kolsänkan ska förstärkas så att LULUCF-målen kan nås. Bland annat förutses längre omloppstider och mindre intensiva gallringar, synergier med naturvård och att skogsindustrins produkters förädlingsvärde höjs.

Även i Sverige har kolsänkans minskning under senare år ökat avståndet till Sveriges LULUCF-mål. I ett framtaget underlag till Miljömålsberedningen konstaterar Wikberg m fl (2023) att Sveriges kolsänka 2022 var 3,6 miljoner ton koldioxidekvivalenter lägre än LULUCF-referensperioden 2016–2018. Det motsvarar ett gap på 7 miljoner ton per år, jämfört med målnivån för 2030. Wikberg m fl (2023) presenterar olika beräkningar för hur den svenska kolsänkan kan utvecklas, utifrån antaganden om olika stor tillväxt, naturvård och efterfrågan som driver avverkning. Några specifika åtgärder för att förstärka kolsänkan ingick inte, men det konstateras att det är viktigt att både bevara och förstärka kolsänkan. Variationen mellan olika antaganden var ganska stor och på motsvarande sätt blev även spannet mellan resultaten om kolsänkan stort, med en tendens att 2030-målet inte kommer att nås utan åtgärder.

Det är mycket oklart hur Sverige ska nå EU-målet om förstärkt kolsänka. Det saknas både planer som sådana och en skogspolitik som fullt ut förhåller sig till klimatfrågan. Regeringens senaste klimatpolitiska handlingsplan (Regeringen 2023) som avser de närmast kommande åren (dvs. den pågående mandatperioden) innehåller inte konkreta mål eller styrmedel vad gäller skogen och dess klimatnytta (Klimatpolitiska rådet 2024). Direktivet för en ny skogspolitik utredning (Regeringen 2024) avfärdar kolsänkan till förmån för användning av träråvara, och även ur andra aspekter prioriterar direktivet inte styrning som skulle kunna bidra till större klimatnytta. Det föreslås till exempel minskad reglering och minskade kunskapskrav på skogsägaren, liksom minskade ambitioner avseende miljömålen, varav flera direkt eller indirekt är viktiga för skogens klimatnytta. Ett utlagt uppdrag till Miljömålsberedningen 2022 pekade åt ett annat håll, genom att efterlysa ett förslag till en strategi med åtgärder som skulle bidra till att Sverige ska nå sina åtaganden inom EU och internationellt för både biologisk mångfald och LULUCF-målet (Regeringen 2022).

Bland annat Konjunkturinstitutet (2022) och Klimatpolitiska rådet (2024) har efterlyst nationell politik som ska säkra att Sverige når LULUCF-målet. Utöver att det handlar om ett bindande mål som behöver nås, skulle det även vara

¹⁸ I planen fanns statistik om markanvändningssektorn till och med 2020.

kostnadseffektivt jämfört med att en för låg kolsänka i stället skulle behöva kompenseras med ytterligare åtgärder inom andra sektorer (Konjunkturinstitutet 2021, 2022, Gong m fl 2022).

Sammantaget är behovet av ytterligare politik i skärningspunkten mellan skogen och klimatet påtagligt. Skogspolitiken är även i övrigt starkt kopplad till andra politikområden, särskilt närings- och miljöpolitiken, genom nationella, europeiska, och internationella processer, mål och åtaganden. Det innebär både möjligheter till synergier och eventuella utmaningar med målkonflikter, och behov av att koordinera beslut och styrmedel (Elomina och Pülzl 2021, Wolfslehner m fl 2020).

7. Skogsägaren, skogsindustrin och andra skogliga aktörer

Samtal om skogen berör både skogsägaren och skogsindustrin, men också allmänheten och staten samt andra aktörer, med olika drivkrafter, perspektiv och mål. Dessa kan dra åt samma, men också åt olika håll. När ansvar och rådighet hos olika aktörer i praktiken inte harmonierar uppstår en problematik, vilket märks när det gäller skogen och klimatet. Liksom många andra nyttor från skogen är den fysiska kolsänkan inte någons egendom, utan kolsänkans funktion är gemensam och statens ansvar.

Skogsindustrin efterfrågar träråvara, utifrån så bra ekonomiska villkor som möjligt. De som köper skogsindustrins produkter vill få bra varor på konkurrenskraftiga villkor. Bra avkastning är ett viktigt incitament för enskilda skogsägare, dock långt ifrån det enda (t ex Lidestav och Westin 2023). Samhället strävar efter att skogsbruket ska bedrivas på ett långsiktigt hållbart sätt, bidra till ekonomin, säkra biologisk mångfald, miljö kvalitet och andra mål. Skogsbruket ska dessutom bidra med klimatnytta. Många av de val som görs längs vägen påverkar hur skogens klimatnytta faller ut. Ungefär hälften av den produktiva svenska skogsmarken ägs av drygt 310 000¹⁹ enskilda skogsägare, resten ägs av privatägda aktiebolag (24 procent), staten (20 procent), och andra. I Finland ägs nära hälften av skogsmarken av omkring 550 000 enskilda skogsägare, medan staten är näst största ägare (35 procent), följt av privata bolag (7 procent) och andra.

Skogsägarnas värderingar och mål varierar (Blanco m fl 2015, Bjärstig och Sténs 2018, Karppinen m fl 2020, Koskela m fl 2021), vilket får genomslag på hur de förvaltar sin skog, och på tillgången på träråvara (t ex Heinonen m fl 2020). Privata skogsägare i Sverige har stor rådighet (Nichivorel m fl 2018) inom den svenska förvaltningsmodellen, präglad av ”frihet under ansvar”. Skogsägarna förväntas i praktiken genomföra åtgärder som leder till att Sveriges nationella mål och internationella överenskommelser, bland annat om klimatåtgärder, nås (Danley m fl 2021). Genom styrmedel som information, rådgivning, incitament och ändamålsenliga regelverk förväntas staten möjliggöra detta (Sandström m fl 2020). Ovanstående för dock med sig en risk för otydliga ansvarsförhållanden och osäker

¹⁹ Exakta antalet beror på vilken gräns som sätts på skogsfastighetens storlek.

måluppfyllelse eftersom formellt ansvar och effektiv rådighet inte alltid harmonierar (jfr Löfmarck m fl 2017).

Det är viktigt att uppmärksamma betydelsen av både privata och offentliga rättigheter, skyldigheter och mål samt hur de förhåller sig till varandra. Skogsägaren har rättigheter som ingen annan har, men andra har ändå rätt till både nyttor och nyttjande av skogsmarken. Det återspeglas inte minst i allemansrätten och strandskyddet. Rennäringen, turistnäringen och jakt- och fiskerätten finns också med i bilden. Bestämmelser för skogsbruket, till exempel de om avverkningssålder och anmälningsplikt inför avverkning, förhåller sig också till samhällsnyttan. Även kolsänkan är en nationell angelägenhet genom att Sverige har internationella åtaganden. Det innebär att även om den fysiska kolsänkan är någons egendom, är kolsänkans funktion gemensam.

Skogsbruket har genom de senaste 120 årens successiva skogsvårdslagar både reglerats och avreglerats. Detta har ändå inte fullt ut fått genomslag i uppfyllelse av samhällsmål om miljö kvalitet. Det är långt kvar till uppfyllelse av många av de mål som handlar om skogen och skogsvårdslagen beaktar inte klimatfrågan. Det framstår inte som sannolikt att skogsbruket väsentligt skulle förändras i närtid utan ytterligare åtgärder eller styrning (Lidestav och Westin 2023). Detta väcker förstås frågan om hur bra skogsbrukets formella ramar fungerar idag. Även om de identifierade prioriteringarna och möjligheterna skiljer sig mellan avnämare, återspeglar det också att frågeställningarna har förändrats sedan den senaste skogsvårdslagen, och annan aktuell styrning, formulerades.

Danley m fl (2021) undersökte enskilda skogsägars inställning till fler åtgärder för skoglig biodiversitet. Många skogsägare var positiva till att göra mer, men såg möjligheterna till ytterligare insatser endast genom frivillighet som ganska uttömda, med mindre än att nya stödjande styrmedel upprättades. Något utbrett motstånd observerades dock inte. De flesta tillfrågade hade en neutral attityd till ytterligare reglering. Aktörer mer generellt (stora och mindre företag, skogsägare, intresseorganisationer, samer) har angett att den nationella skogspolitiken behöver förnyas skyndsamt för att möjliggöra en god hantering av alla mål som berör skogen (Sandström m fl 2020, jfr även Eggers m fl 2019). Omvänt har det visats att till synes utbredda farhågor kring en utveckling av styrning och styrmedel mestadels finns hos ett mindre antal skogliga aktörer, som dock är inflytelserika (Sténs och Mårald 2020, Danley m fl 2021).

Man kan tänka sig mer lagreglerad styrning, men också andra incitament som ryms under ”frihet under ansvar”. Friheten kan kanske till och med öka genom att fler möjligheter öppnas (jfr Danley m fl 2021, Lidestav och Westin 2023). Det skulle kunna handla om statligt ledarskap genom åtgärder på kronans mark, förbättrad rådgivning och ekonomiska incitament för förstärkt kolsänka på privat mark. Välplanerade styrmedel krävs för att öka skogsbrukets klimatnytta och skulle kunna tas emot positivt av skogsägare. Det är förstås rimligt att skogsägaren får ersättning om hen upplåter mark eller genomför åtgärder som avser gemensamma nyttor, särskilt om en sådan åtgärd påverkar markvärdet eller den aktuella

markanvändningen negativt (Bakx m fl 2023). Idag finns det vissa möjligheter till ersättning för minskad avkastning vid utebliven avverkning, till exempel vid naturvård (vilket även kan gynna kolsänkan). På senare tid har alternativa affärsmodeller och finansiella mekanismer för klimatåtgärder i skogen börjat diskuteras. Sådana åtgärder kan i sin tur medföra sidonyttor för biologisk mångfald och rekreation, eller vara kostnadsneutrala alternativt kostnadspositiva. Att konkretisera samspelseffekter mellan olika mål och synergier skulle kunna bidra positivt till effektiva styrmedel.

I takt med att skogspolitikens koppling till andra politikområden har utvecklats, har också flera myndigheter fått roller och ansvar som berör skogspolitik, och nya konstellationer av aktörer har uppstått. Tillsammans är dessa viktiga när det kommer till att ta fram beslutsunderlag och förslag till åtgärder, administrera styrmedel och följa upp genomförandet.

I Finland förvaltar Forststyrelsen statens skog. Den är idag ett statligt affärsverk. Utöver offentliga förvaltningsuppgifter vad gäller statens mark och vatten, bedriver Forststyrelsen även affärsverksamhet. Myndighetsutövningen gentemot privata skogsägare (bolag och enskilda) görs av den nationella Skogscentralen, som även tillhandahåller information och tjänster. Enligt lagen om Finlands skogscentral ansvarar den för planering och utredning av skogens nyttor, inklusive skogsbaserade näringar, klimat, energi, bevarandet av ”skoglig mångfald” och miljöskydd relaterat till skogsbruket. Den finska staten äger även Tapio som är ett aktiebolag med verksamhet som rådgivning, konsulttjänster och frö- och plantproduktion. Liksom i Sverige har även flera andra finska myndigheter och aktörer viktiga uppgifter. Finska skogsvårdsföreningar representerar privata skogsägare, som i sin tur ingår antingen i Centralförbundet för lant- och skogsbruksproducenter (MTK) eller i Svenska lantbruksproducenternas centralförbund (SLC rf). Föreningarna arbetar med information och erbjuder tjänster, till exempel vid virkesföljning, men har inte egen industriverksamhet. Det finns även Landskapens skogsråd för samverkan mellan näringar och skogssektorn.

I Sverige är Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket ansvariga myndigheter för skogsrelaterade miljökvalitetsmål och Naturvårdsverket är ansvarigt för miljökvalitetsmålet för klimat. Skogsstyrelsen har tillsynsansvar gällande skogsvårdslagen och inom miljöbalken även ansvar för skogsvårdsåtgärder. Båda myndigheterna tar fram statistik och tillhandahåller underlag för uppföljning och policyutveckling. De förvaltar även styrmedel, inklusive rådgivning och information, samt stöd för vissa typer av åtgärder, och deltar i internationellt samarbete. Svenska skogsägare samlas i skogsägarföreningar (jfr Holmberg 2005) som representerar var tredje enskild skogsägare i Sverige. Dessa äger tillsammans ungefär hälften av den enskilt ägda skogsmarken. Antalet föreningar var tidigare större, men de har över tid slagits ihop till tre stora skogsägarföreningar, Södra Skogsägarna, Mellanskog och Norra Skog. Därtill finns det riksomfattande Lantbrukarnas Riksförbund (LRF). Föreningarna kom till för att förstärka skogsägares ställning gentemot skogsindustrin. Inledningsvis handlade det inte minst om att samordna virkesförsäljningar. Senare tillkom rådgivning, stöd och

tjänster som avverkning (Kronholm 2015). Idag är föreningarna även industriaktörer med sågverk och massafabriker. Kronholm och Staal Wästerlund (2013, se även Bergkvist m fl 2024) har påpekat att skogsägarföreningarna fortsätter att återspegla traditionella skogsägares värderingar, trots att skogsägare över tid har blivit en mer heterogen grupp med olika mål.

Skogsägarföreningar och virkesköpare har stort inflytande på privata skogsägares beslut, genom rådgivning och information och genom att köpa upp virke. Även avverkning och skogsvård sköts ofta av entreprenörer. Rådgivning och information är givetvis mycket viktigt när skogsägare har ”frihet under ansvar”, och varierande möjlighet att engagera sig i sitt skogsbruk. Som framgår ovan, finns det många aktörer som förmedlar information och stöd till enskilda skogsägare. Virkesköpare har i praktiken dubbla roller utifrån skogsägarnas perspektiv, dels en rådgivande roll, dels en kommersiell sådan. Det innebär inflytande över den enskilde skogsägares skogsbruk, både genom rådgivning och vad gäller praktiska åtgärder i skogen (Hysing 2009, Andersson och Keskitalo 2018, Curtis m fl 2023), vilket bidrar till att virkesproduktion gynnas framför andra nyttor (jfr Skogsstyrelsen 2022a). I denna växelverkan mellan skogsägare, myndighetsrepresentanter och industrins representanter, kan det formella ansvaret respektive den effektiva rådgivningen hamna hos olika parter (Löfmarck m fl 2017). Särskilt problematiskt är asymmetrier i information och intressen mellan den enskilde skogsägaren och virkesköparen/industrin (jfr Andersson och Keskitalo 2019, 2021, Hertog m fl 2022).

8. Skogsbrukets klimatomställning återstår

Den klimatnytta vi får av skogen uppstår i ett omfattande aktörslandskap. Det finns inte någon enskild aktör som kan föra skogens, skogsbrukets eller skogsnäringens talan. Skogen binder kol och växer på "egen hand"; en del nytta uppstår tack vare staten, en del tack vare skogsägaren, skogsindustrin och konsumenterna som prioriterar hållbarhet. Att det finns flera aktörer som berör och berörs gör att systemgränser i analyser dras olika, liksom vid framförande av egna prioriteringar. Det kan skapa förvirring och bli till hinder i klimatomställningsarbetet. Den träråvara som tas ut ur skogen används idag i stort sett till samma ändamål som för flera årtionden sedan och marknaden styr användningen. Men klimatnyttan skulle kunna vara avsevärt mycket större med ett skogsbruk som hade maximerad klimatnytta som ett av flera mål. Sammantaget har ännu inte någon verklig klimatomställning ägt rum inom skogsnäringen. Utöver politiken och industrins egna drivkrafter påverkar omvärldsfaktorer efterfrågan på befintliga och möjliga produkter från skogen, däribland konsumenternas nya behov och hållbarhetstänkande, förändringar i marknader för traditionella produkter, konkurrens med framväxande aktörer, och hur den biobaserade och cirkulära ekonomin styrs och utvecklas. Det finns stora möjligheter att öka skogens klimatnytta, både omgående och på längre sikt.

Det skogsbruk vi har idag har i första hand formats under de senaste 70 åren. Befintliga klimatnyttor är varken resultat av aktiva klimatåtgärder eller det bästa som kan åstadkommas. Klimatfrågan var inte heller drivande i framväxten av sågverksindustrin, biobränslen i fjärrvärmesystemet eller i de relativt begränsade förändringar som skett i träråvarans användning. Kolsänkan har ökat i skogen, men från en utgångspunkt i ett försämrat skogstillstånd, och ökningen har tillkommit dels genom miljöfaktorer, dels genom åtgärder som syftat till annat än klimatnytta. Enligt Heder Brandt m fl (2023) som analyserade stora skogsbolags PR-kommunikation under 2019–2022 väger det rådande paradigmet tungt, att skogens klimatnytta handlar om produktion och om dagens mix av produkter från skogen. Det finns exempel på att samma betoning har präglat vissa forskningssatsningar

(Andersson och Westholm 2018). I detta synsätt saknas den viktiga additionalitet som klimatåtgärder behöver handla om, det vill säga att klimatnyttan skapas genom att gå längre än åtgärder som ändå skulle vidtas och längre än en referensutveckling som redan är inräknad i utsläppsminskningens målen.

Skogsindustrierna påtalar sin stora klimatnytta, till exempel att den i Sverige skulle motsvara två gånger Sveriges direkta klimatutsläpp. Med det avses summan av kolinlagringen på skogsmark, inklusive i långlivade produkter (anges som knappt 46 miljoner ton koldioxidekvivalenter för år 2020) och substitutionsnyttor (52 miljoner ton), minskat med skogsnäringens egna direkta fossila utsläpp (drygt 4 miljoner ton) (Skogsindustrierna 2022, se även Skogsindustrierna 2019). Den bakomliggande beräkningsmodellen från Holmgren och Kolar (2019) drar ovanligt breda systemgränser. Den tillskriver både naturliga kolsänkor (den kolinlagring som sker oberoende av åtgärder) och substitutionens hela effekt till skogsnäringen. Ett sådant sätt att beräkna är inte jämförbar med hur klimatmålen beräknas eller bilden av andra sektors klimatställning (jfr avsnitt 4.5 och faktaruta 3).

Skogen som växer och skogsindustrin som omsätter skog till produkter är inte ett system i vilket skogens upptag kan kvittas mot utsläpp förknippade med bruket av skog och träråvara.

Det är inte uppenbart att skogsnäringen skulle kunna tillgodoräkna sig den kolinlagring som sker i skogen²⁰. Utöver att all skog svarar på förändringar i miljöfaktorer som exempelvis kvävenedfall och växtperiodens längd, finns en stor del av kolsänkan tack vare den naturvård som bedrivs. Till exempel i Nilsson (2018) anges, baserat på Skogsstyrelsens analyser, att den kolsänka som finns på områden med formellt skydd, frivilliga avsättningar och hänsynsytor, har uppgått till minst 15 miljoner ton koldioxid per år, det vill säga en betydande del av skogsmarkens kolsänka (jfr även SLU 2024).

Skogsnäringen framställer också ofta substitutionsnyttan något frikostigt. Till exempel beräknar Holmgren (2020) den sammanlagda kolsänkan och substitutionseffekten för hela EU till betydligt större än vad andra studier kommer fram till (jfr t ex Lundmark m fl 2014, Grassi m fl 2021b, Nabuurs m fl 2017b). Holmgren utgår bland annat från att all användning av träråvara skulle ge en substitutionseffekt, vilket av naturliga skäl inte stämmer när det gäller användning där det inte finns något reellt alternativ, eller då träråvara hade använts oavsett. Substitutionsfaktorerna ter sig också som något höga. Modellen ovan har även tillämpats av andra skogsbolag (t ex Hammar m fl, 2022), med motsvarande slutsatser. AFRY (2024) har gjort en uppskattning som framställer en nästan jämförbar substitutionsnytta inom EU som Holmgrens (2020) beräkning. Bakomliggande antaganden är endast delvis beskrivna och studierna har likartad problematik gällande val av systemgränser. AFRY förutser dessutom samma

²⁰ Den kolsänka på skogsmark som faktiskt avser klimatmålen skulle exempelvis kunna vara en klimatnytta som staten åstadkommer genom lagstiftning. För övrigt är en stor del av den årliga kolinlagringen ett resultat av naturliga processer och avsättningar för naturvård.

användningsområden för träråvaran som idag, speciellt förpackningar. Nya typer av produkter från träråvara finns endast med i marginell omfattning.

Ytterligare problematik tillkommer eftersom tidsdimensionen, betydelsen av teknikutveckling inom andra sektorer och utveckling av efterfrågan/produktanvändning, och förlusten av kolsänka (se nedan) inte beaktas. Att inte sätta substitutionsnyttor i perspektiv till alternativnyttan i form av större kolsänka vid mindre avverkning, eller tillverkning av alternativa produkter, blir missvisande om syftet är att visa möjlig klimatnytta (Soimakallio m fl 2022*, jfr även Jonsson m fl 2021). Resultatet blir en närmast statisk ögonblicksbild som bortser från utvecklingen både inom och utanför den skogliga sektorn. Flera studier pekar på risker med alltför ”optimistiska” och/eller förenklade beräkningar av substitutionsnytta (t ex Howard m fl 2021*, Myllyviita m fl 2021, Hiltunen m fl 2021, Schulte m fl 2022, Kumar Baul m fl 2017). Överskattning av substitutionsnytta kan motverka drivkrafter och acceptans för skogsnäringens klimatomställning, och därmed dess möjliga klimatnytta.

Det är inte heller uppenbart att skogsnäringen skulle kunna bokföra effekten av utsläpp som undviks genom substitutionsnyttor eller användning av långlivade produkter, i stället för aktören som väljer att använda sådana produkter, exempelvis byggsektorn. Ett exempel från andra sektorer skulle kunna vara att ett oljebolag ansvarade för utsläppen från bilåkande och att transportsektorns utsläpp därmed inte minskade när fossildrivna bilar byttes ut mot elbilar, och att klimatnyttan (minskade utsläpp) vid minskande utsläpp från transportsektorn som följd av inblandning av biobränslen skulle ligga hos oljebolaget. Alternativt skulle man kunna jämföra klimateffekten av till exempel biobränslen med den från solkraft och vindenergi, i stället för med fossila bränslen, vilket skulle ge ett annorlunda resultat för hur stor biobränslets relativa substitutionseffekt är. Hur systemgränser dras påverkar framställningarna och slutsatserna markant. Ett exempel på hur man skulle kunna tänka kring skogliga biobränslets klimateffekt kommer från finska forskningscentrumet VTT (2023) som visar att skogsägaren skulle gagnas med råge, och skogsindustrin missgynnas, i ett system i vilket industrin köper en kolsänka från skogsägaren för att kompensera för sina utsläpp, till exempel från bioenergi.

Så länge som man inte använder restprodukterna till andra produkter, och utgår från att avverkningen drivs av marknader för skogsindustrins traditionella produkter, kan man naturligtvis argumentera att det är bättre att bränna restprodukterna för energi än inte. Men det innebär också att klimatnyttan är sekundär och varken optimerad eller maximerad.

I skogsindustrins beräkningar ovan bortses regelmässigt från den möjliga klimatnytta skogen skulle kunna bidra med. Det saknas en referensutveckling kring andra möjliga användningar av skogen och dess virke, till exempel vilka klimatnyttor som uteblev när kolsänkan påverkades av avverkning, eller vilken klimatnytta som hade kunnat åstadkommas genom tillverkning av andra produkter. Både tidsdimensionen och den möjliga alternativa nyttan försvinner från bilden.

Den betydande omsättningen av skoglig bioenergi i skogsindustrins egna processer för att producera kortlivade produkter – som i sin tur ganska snart blir skoglig bioenergi när slutanvända produkter förbränns – problematiseras sällan heller. Denna träåvaruresurs skulle genom teknik- och effektiviseringsåtgärder kunna riktas om (jfr Börjesson 2021, Statens offentliga utredningar 2023) till produkter som textilier, kompositmaterial och träpaneler (Hurmekoski m fl 2020).

Skillnaden i industrins beräkningar av skogsbrukets klimatnytta jämfört med de allra flesta andra studier är sammantaget stor. Argumentationen att skogsindustrin tillhandahåller en så stor klimatnytta som påstås underbygger skogsindustriens och många politiska aktörers ställningstaganden. Det är en röd tråd i Skogsindustriernas färdplan (Skogsindustrierna 2018) och deras senare åtaganden att ”skogsindustrin ska öka sin klimatnytta” med 30 procent till år 2040, varav en stor del handlar om substitutionsnytta (Skogsindustrierna 2023). Med tanke på de problematiska systemgränserna och räknesätten ter det sig som ett ganska osäkert kort. I den mån som ”ökad kolbindning” i samma kommunikation gäller skogsmark och långlivade produkter så kan det leda till ökad klimatnytta, men det öppnas även för uppskalning av bio-CCS. Det sistnämnda bedöms än så länge vara förknippat med stora osäkerheter (t ex Tanzer m fl 2021, Lamb m fl 2024), men skulle på sikt kunna ge viktiga bidrag (Onarheim m fl 2017). Att driftsätta och skala upp bio-CCS går dock mycket långsamt. Även det internationella energiorganet (IEA 2024) konstaterar att den globala omfattningen av bio-CCS än så länge uppgår till 2 miljoner ton koldioxid per år, vilket är en försvinnande liten del av de globala utsläppen. Bio-CCS är också en dyr åtgärd, i alla fall på kort sikt. Till exempel Energimyndigheten (2021) har bedömt kostnaden till 1100–2000 kronor per ton koldioxid. Åtaganden från Skogsindustrierna kan ändå tolkas som en klar indikation på att industrin i sak ser både behov och möjligheter av att utveckla och öka näringens klimatnytta.

9. Skogsbruk för ökad klimatnytta

Skogen i Sverige kommer att fortsätta brukas och bidra till produkter och nyttor av många olika slag. Varken från politiskt håll, från forskarvärlden, eller från intressegrupper föreslås att helt stoppa avverkningen. Däremot finns det flera möjliga åtgärder som snabbt kan öka skogens klimatnytta genom att förstärka kolsänkan, genom att använda en större andel av träråvaran till produkter som långsiktigt binder kol och/eller har större substitutionsnytta än dagens produktmix. Frågan handlar således inte om skogsbrukets vara eller inte vara, utan om hur det svenska skogsbruket ska utvecklas med avseende på intensitet, metoder, mål, produkter och nyttor.

Ett skogsbruk som drivs i linje med klimatmålen kan möjliggöra en betydande nettoutsläppsminskning i närtid, så småningom negativa utsläpp och långsiktigt netto-nollutsläpp, följt av nettonegativa koldioxidutsläpp.

Skogens klimatnytta kan öka genom högre tillväxt, hantering av klimatrelaterade risker för att minska naturlig avgång, minskad avverkning, och genom att träråvaran används till produkter som långsiktigt binder kol och/eller har stor substitutionsnytta (t ex Nabuurs m fl 2017b, Verkerk m fl 2020). Det finns därmed flera åtgärder som kan förstärka eller försämrade kolsänkan i skogen beroende på hur de tillämpas. Några exempel är val av avverkningsnivå, gallringsintensitet, omloppstid (vid kalhuggning), undvikande av kalhyggen, avverkningsfrekvens (vid hyggesfritt), plantval, naturvård (avsättningar och skydd) och gödsling.

Exakt vilka åtgärder som vore bäst lämpade för ökad klimatnytta varierar med plats, tidshorisont hur skogen ser ut och parallella andra mål. Genomgångar av olika åtgärders effekt på kolsänkan visar att det finns en konkret potential i att förstärka kolsänkan i skogen (Skogsstyrelsen 2022b, Skogsstyrelsen 2023b, Naturvårdsverket m fl 2022). Andra sammanställningar från senare år är till exempel Saksa m fl (2020*), och på ett mer översiktlig plan Nabuurs m fl (2017b) och Verkerk m fl (2020). Mäkipää m fl (2023*) presenterar en sammanställning gällande olika skogsbruksåtgärders effekt på markkol. Slutsatser från dessa och andra studier diskuteras nedan.

9.1 Avverka lagom

Förändringar i avverkningsnivån kan ha en betydande och mycket snabb effekt på kolsänkan. Genom att prioritera vilken träråvara som tas ut, kan klimatnyttan från substitution dessutom förbättras.

Skogsstyrelsen (2023b) sammanfattar sina bedömningar om olika åtgärders effekt på kolsänkans utveckling. Den bedömer då att om avverkningen minskar med 10 procent skulle kolsänkan öka med i genomsnitt drygt 9 miljoner ton koldioxid per år mellan 2020 och 2100. Förlängning av omloppstiden med 30 procent skulle ge en något större årlig effekt under de första årtiondena, och något lägre effekt längre fram i tiden. Dessa åtgärder skulle kunna ha signifikant effekt redan på kort sikt och i tid för att bidra till Sveriges 2030-mål för LULUCF. I Skogsstyrelsens rapport från 2022 (Skogsstyrelsen 2022b) uppmärksammades även återvätning och klimatanpassning som möjliga åtgärder.

En minskning av avverkningsnivån skulle omgående öka kolsänkan, även när hänsyn tas till påverkan på substitutionsnyttan. Hur lång tid en sådan ökad klimatnytta skulle ge effekt beror inte minst på vilka antaganden som görs om substitutionsnyttan. Gustavsson m fl (2017, 2021) kom fram till att minskad avverkning ökar klimatnyttan i några årtionden jämfört med ökad avverkning. Både Pukkala (2018) och Skytt m fl (2021, 2022) fann att minskad avverkning ökar skogens klimatnytta också sett över långa tidsperspektiv, även när hänsyn tas till möjliga substitutionsnyttor. Att minskad avverkning ökar den sammanlagda klimatnyttan lyfts även fram av till exempel Heinonen m fl (2017) och Schulte m fl (2022) för ett finskt respektive svenskt fall, av Korosuo m fl (2023) på EU-nivå, och av Finlands klimatpanel på nationell nivå (Seppälä m fl 2022).

Omvänt gäller att ökad avverkning minskar den sammanlagda klimatnyttan jämfört både med en minskad avverkning och en oförändrad nivå på avverkningen (t ex Soimakallio m fl 2021). För att ökad avverkning skulle kunna leda till ökad klimatnytta genom substitution skulle substitutionsfaktorer behöva vara betydligt större än idag (jfr Seppälä m fl 2019, Soimakallio m fl 2022*), annars förmår den inte kompensera för den mindre kolsänka som avverkningen leder till. Sammantaget visar de olika resultaten att minskad avverkning, både i närtid och på längre sikt över många tiotals år, kan öka klimatnyttan. För att ökad avverkning ska öka klimatnyttan, behöver träråvaran användas på sätt som ger betydligt större substitutionseffekt än idag, vilket diskuteras mer utförligt längre nedan.

9.2 Längre omloppstid och mindre gallring

Det finns brett stöd i kunskapsläget för att längre omloppstider i skogsbruket skulle ge en snabb klimatnytta under de för klimatmålen så viktiga närmaste åren och årtiondena (t ex Dalsgaard m fl 2015*, Lundmark m fl 2018, Peichl m fl 2023a, Schulte m fl 2022, Peltoniemi m fl 2023, Skogsstyrelsen 2023b). Hur lång en sådan

förlängning av omloppstid behöver vara för att uppnå en viss klimatnytta varierar mellan olika studier, bland annat beroende på den specifika skogens egenskaper. Som i frågan om avverkningsnivåer påverkas slutsatserna även av antaganden om substitutionsnyttor.

Att avstå från gallring ökade kolsänkan på skogsmark med 50 procent i 40 år långa experiment i tallskog i Sverige (Jørgensen m fl 2021). Effekten förstärktes om skogen dessutom gödslades (se även Hiltunen m fl 2021). Även med gallring förstärkte gödsling kolsänkan, men effekten var klart mindre. Det gällde även om det antogs att all gallrad träråvara användes till produkter.

Det finns åtgärder som kan bidra till ökad tillväxt i skogen, och därmed ökad kolsänka och/eller tillgång till träråvara. När det främsta syftet är ökad tillgång till råvara och beräkningen avser långa tidsperspektiv och en landskapsansats (Skogsstyrelsen 2019a, Petersson m fl 2022), blir förstärkandet av kolsänkan ofta i praktiken nedprioriterat. Tillväxthöjande insatser kan till exempel vara val av plantor som växer snabbare, och gödsling. Förslag om att öka tillgång till träråvara, men på bekostnad av kolsänkan, kan handla om att förkorta omloppstider, mer intensiv gallring och större skörd av avverkningsrester (t ex Nabuurs m fl 2017b). Jämfört med minskad avverkning, längre omloppstid och mindre intensiv gallring är effekten på klimatnyttan mer begränsad, speciellt på kort sikt (t ex Egnell och Björheden 2013). I Skogsstyrelsens (2023b) analys femfaldigades den kvävegödslade arealen, vilket ökade kolsänkan, särskilt i norr. Effekten var dock endast en femtedel av den ökning av kolsänkan som följde från minskad avverkning eller från förlängd omloppstid.

Att tillväxthöjande insatser ger klimatnytta på längre sikt (Naturvårdsverket m fl 2022) är förstås relevant, men löser varken behov av ökad klimatnytta på kort och medellång sikt och tar inte heller tillvara skogens möjliga klimatnytta på ett effektivt sätt.

9.3 Naturvård kan ge klimatnytta

Det är naturligtvis viktigt att se hur olika nyttor i skogsbruket samspelar. Att bevara och restaurera kolrika ekosystem är en möjlig klimatåtgärd. Redan idag står skyddade områden och avsättningar, tillkomna för att skydda naturvärden, för en betydande del av den årliga kolsänkan (se kapitel 8), inklusive skog som är betydligt äldre än den gängse omloppstiden (jfr avsnitt 4.2). Också i Finland bedöms att sådana åtgärder förstärker kolsänkan, särskilt på kort och medellång sikt, utan någon betydande minskning i virkesproduktionen (Mehtätalo 2023). Även mindre intensiv avverkning kan kombineras med skydd och restaurering av ekosystem, och gynna den biologiska mångfalden. Nabuurs m fl (2017b) noterar hur naturvårdande åtgärder skulle kunna vara en integrerad del av ett klimatsmart skogsbruk. Naturvårdsverket m fl (2022) bedömer att ökade avsättningar skulle öka kolsänkan på kort och medellång sikt, vilket skulle kunna bidra, som kompletterande åtgärd, till att uppfylla de nationella klimatmålen. Här finns möjliga synergier med

genomförandet av naturrestaureringsförordningen. Även om målen är satta, är valet av åtgärder upp till respektive land. Att leva upp till det nationella miljö kvalitetsmålet Levande skogar i Sverige skulle enligt Nilsson (2018) leda till stor klimatnytta genom förstärkt kolsänka i minst samma storleksordning som minskat virkesuttag.

Naturvård kan bidra till att förstärka kolsänkan genom avsättningar eller ökat skydd av skog (t ex Forsius m fl 2023). Eftersom tillväxten på produktiv skogsmark i stort avverkas årligen, finns en stor del av den mer permanenta kolsänkan på avsatta och skyddade områden. Kolsänkan ökar förstås inte jämfört med referensutvecklingen om det gäller mark som ändå inte skulle ha avverkats, eller om avverkningen ökar på andra marker i samma omfattning (Naturvårdsverket m fl 2022, Skogsstyrelsen 2023b). Där skogen brukas kan utökat främjande av naturvårdande åtgärder som evighetsträd, kantzoner och hänsynsytor, liksom att lämna död ved intakt, bidra till att säkra en del av kolinlagringen som annars skulle gå förlorad vid intensivare avverkning.

Återvätningsavtal²¹ ger ersättning till markägaren som genom stödet kan balansera olika nyttor från berörd skogsmark på ett nytt sätt. Återvätning kan vara en effektiv klimatåtgärd på dikade näringsrika torvmarker, som sammantaget står för en betydande del av de totala årliga växthusgasutsläppen, både i Sverige och Finland. Staten får i sin tur bidrag till arbetet med de olika målen om klimat, biologisk mångfald, och andra mål om miljö kvalitet. I Sverige finns stöd för återvätning av tidigare dränerade torvjordar som använts för skogsbruk, med uttalat klimatsyfte (återvätningsavtal som kan tecknas med Skogsstyrelsen). Genom att höja grundvattennivån minskar syresättningen och därmed nedbrytningen i marken, vilket minskar koldioxidutsläppen (se avsnitt 5.4). Grundvattennivån kan höjas genom att anlagda diken får växa igen eller genom att de ”pluggas” igen. Effekten av sådana åtgärder varierar med hur näringsrik marken är och hur vattennivån ändras.

9.4 Viktigt att öka skogens resiliens

Det finns tecken på att skadorna på skogen i vår del av världen har varit större under senare år än tidigare. Detta har delvis kopplats till klimatförändringens effekter (Senf m fl 2018a). I Europa har händelser som extrem torka, barkborreangrepp, stormar och skogsbränder haft särskilt markanta effekter (Senf och Seidl 2018b, 2021, Hlásny m fl 2021).

Utöver de åtgärder som förstärker kolsänkan och ökar tillväxten, är åtgärder som bidrar till skogens motståndskraft – resiliens – mot klimatrelaterade skador en angelägen del av skogsbrukets klimatanpassning. Val av skogsbruksmetod påverkar skogens sårbarhet (t ex Sonesson m fl 2017) och risken för skador relaterade till vindfällning, blötsnö, torka och brandväder, rotröta och barkborrar,

²¹ <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/skog-och-klimat/atervatning-av-torvmark/>

inklusive kaskadeffekter när viss påverkan i sin tur ger upphov till ytterligare skadliga effekter (t ex Nunes Romeiro m fl 2022*, Venäläinen m fl 2020*).

Frågan om skogsbrukets klimatanpassning ligger utanför fokus för denna rapport, men det behöver påpekas att ökad resiliens är ett givet perspektiv för att säkra skogen som kolsänka, och för val och tillämpning av skogsbruksmetod. Det handlar bland annat om val av trädslag, avverkningsmetod, täthet och luckor, plantval, övervakning för tidig varning för insektsangrepp, med mera (t ex Skogsstyrelsen 2019b, Felton m fl 2024*).

9.5 Affärsmodell kolsänka

Genom val av skogsbruksmetod kan skogsägaren påverka sina kostnader och sin avkastning från skogsmarken. Utöver den ekonomiska avkastning som skogsägaren kan få från att sälja virke, och skogsindustrin från att sälja produkter, kan ytterligare andra affärsmodeller komplettera skogsägarens möjliga inkomster samtidigt som de ökar klimatnyttan. Naturturism kan till exempel göra det möjligt att prioritera andra nyttor än uttag av träråvara och öka klimatnyttan genom att säkra skogens kolsänka. De stöd som finns till naturvårdande ändamål i både Sverige och Finland, och stöd till återväxtning, visar möjligheten med styrmedel. Det pågår både forskning och policyutveckling kring ersättningsmodeller som fokuserar på skogens roll som kolsänka.

Det kan vara rimligt att staten ger ersättning för åtgärder som ökar kolsänkan, speciellt om sådana åtgärder medför att skogsägarens intäkter från virkesförsäljning minskar. Beroende på hur en sådan ersättning utformas, kan skogsägarens avkastning till och med öka. Flera studier konkluderar att ersättning för kolsänkan skulle påverka både skogsägarens ekonomi positivt och vara samhällsekonomiskt kostnadseffektivt. Nilsson (2018) beräknar att den samhällsekonomiska sidonyttan av förstärkt kolsänka genom miljöhänsyn i linje med miljömålet Levande skogar skulle motsvara minst värdet av minskat uttag av träråvara. Kangas och Ollikainen (2023) beräknar hur ersättning som avser biologisk mångfald skulle kunna kompletteras med ersättning för bevarande av kolsänkan. Enligt Guo och Gong (2017) skulle ersättning för förstärkt kolsänka i skogen kunna vara ett kostnadseffektivt sätt att minska nettoutsläppen av koldioxid i Sverige. Kostnaden per ton minskade nettoutsläpp skulle vara lägre än vid många andra utsläppsminskningsåtgärder. Potentialen för ökad kolsänka ökar med ersättningen (se även Konjunkturinstitutet 2021). Åtgärder kan i praktiken handla om mindre intensiv gallring och avverkning, exempelvis genom längre rotationstider eller lägre avverkningsfrekvens vid hyggesfritt, och mer omfattande naturvårdande åtgärder vid avverkning. Hyggesfritt skogsbruk kan då bli mer attraktivt än rotationsskogsbruk, ur skogsägarens perspektiv (Ekholm 2020, Ahtikoski m fl 2022).

I praktiken kan olika styrmedel behövas över tid, dels för att ge skogsindustrin tid att ställa om till ett annat virkesutbud, dels för att det kan ta tid att sätta upp och

implementera nya system. Naturvårdsverket (2022) skriver om möjligheter med en förlängning av omloppstider och omvända auktioner. Inom EU förbereds ett frivilligt ramverk för certifiering av kolsänkor, både i skogen och i långlivade träprodukter, vilket kan bidra till att etablera ett tillförlitligt ersättningssystem som harmonierar annan gemensam politik (Europaparlamentet och rådet 2022).

Peltoniemi m fl (2023) undersökte olika styrmedel för att förstärka kolsänkan. Mest effektivt och kostnadseffektivt var en kombination av direkta ersättningar för kolsänkan, incitament till träbyggande och en förlängning av omloppstider. Om ersättningsnivåerna inledningsvis skulle vara förhållandevis låga, skulle tillgång till virke inte behöva minska alltför snabbt, vilket skulle underlätta omställning i industrin. Enligt Peltoniemi m fl kan skogsägare tänka sig sådana mekanismer. En finsk undersökning av enskilda skogsägars inställning till ersättning för kolsänkan (Koskela m fl 2021) visade att varannan skogsägare var intresserad.

Hur stor den ekonomiska nyttan skulle bli för skogsägaren beror förstås på ersättningens nivå, men även på hur betalningar administreras (jfr transaktionskostnader) och hur de skulle variera mellan olika skogliga bestånd och med deras tillstånd (Juutinen m fl 2018). Hur ersättning introduceras har också betydelse. Om kolpriser exempelvis ökade med tiden, skulle det påverka valet av åtgärd i skogen (Ekholm 2016). Utöver själva ersättningen för kolsänkan kan prissättning även påverka markvärdet positivt (Ekholm 2016), och minska skogsägarens ekonomiska risk relaterad till skogsskador (Ekholm 2020).

Permanens och additionalitet är viktiga aspekter vid utformningen av ersättningssystem, både för effektivitetens och kostnadseffektivitetens skull. Kol som lagras i skogen kan snabbt återgå till atmosfären vid en avverkning eller en skogsbrand. Ersättningsmodeller kan utformas med olika tidsperspektiv. Juutinen m fl (2018) påpekar att relativt korta perioder om 5–10 år skulle öka flexibiliteten för skogsägaren och marknaden. Ett eventuellt utsläpp senare innebär ändå inte att en tidigare kolsänka skulle ha varit utan klimatnytta (Parisa m fl 2022). Det är givetvis viktigt att säkerställa att skogsbruket inte samtidigt intensifieras i andra bestånd.

Ersättning för kolsänkan kan både vara effektivt för att minska nettoutsläppen och kostnadseffektivt för samhället, samtidigt som det gagnar skogsägaren. Minskad avverkning, längre omloppstid eller en större övergång till hyggesfritt skulle påverka sortimentet och tillgången till träråvara på marknaden. Det skulle rimligen påskynda förändringar av hur träråvara används, vilket i sin tur kan öka skogsindustrins klimatnytta och långsiktiga avkastning.

9.6 Läckage?

Ibland försvaras en hög avverkningsnivå i Sverige med att om inte Sverige avverkade skog, så skulle andra länder göra det i högre utsträckning och dessutom på ett sämre sätt. Det argumentet har ett rådighetsproblem – en aktör kan inte ta ansvar för det som den inte har rådighet över. Till exempel råder man i Sverige över den egna skogen. Utifrån ett globalt klimatperspektiv har träråvara från skogar som växer mycket snabbare än boreal granskog en klar fördel (jfr Seppälä m fl 2022). För att motverka läckageeffekter är det ändå önskvärt med en systemsyn som är minst nationell, gärna europeisk, och helst internationell. Oavsett, det är inte givet att klimatnyttan av minskad avverkning i Sverige fullt ut skulle tillintetgöras av förändrad aktivitet någon annanstans (Pan m fl 2020). Det finns olika uppskattningar av storleken på eventuellt läckage, till exempel Lundmark (Skogsstyrelsen 2022c) uppskattade läckageeffekten till 25 procent för sågtimmer och upp till omkring 50 procent för massaved. Nettoökningen i klimatnytta från den antagna lägre avverkningsnivån (10 procent mindre än referensnivån) uppgick ändå till cirka 5 miljoner ton koldioxid per år, vilket skulle vara en betydande ökning.

Läckage kan även uppstå nationellt, till exempel om ersättning för bibehållen kolsänka minskar avverkningen i vissa skogar (Peltoniemi m fl 2023). Det skulle kunna öka virkespriserna, och leda till att andra skogsägare ökade sina uttag. Effekten kan dock klinga av ganska snabbt när ersättningssystemen används av flera och skogsindustrin styr om sina investeringar i linje med tillgången på råvara. Om ersättningarna utgår från längre omloppstid kan avverkningsnivåerna också återhämta sig, när den nya omloppstiden nås. Effekten kan alltså bli att mer av avverkningen sker inledningsvis i skogar som ligger utanför ersättningssystemet, och senare i skogar för vilka ersättning har utgått.

Läckage finns med i bilden även omvänt. Substitution under ett utsläppstak leder inte nödvändigtvis till undvikta eller mindre utsläpp. Inom EU ingår de större energi- och industrianläggningarna i utsläppshandelssystemet ETS. Motsvarande system med tak och pris på utsläpp finns även i andra länder och regioner. Cement- och ståltillverkning inom EU ska rymmas inom det totala antalet utsläppsrätter som finns för en given tid. Om träråvara användes i byggandet i stället för cement, skulle de utsläppsrätterna som inte behövdes för att tillverka cementet finnas kvar och kunna disponeras av andra verksamheter (jfr Konjunkturinstitutet 2022).

9.7 Nya produkter, industrin och efterfrågan

Skogen kan bidra med klimatnytta genom att binda kol, som en kolsänka. Skogen kan också bidra till klimatnytta genom att träråvara ersätter (substituerar) fossilintensiva alternativ. Nyttan består då i att vissa utsläpp som annars hade kunnat bli av, uteblir inom andra sektorer.

Idag används mycket av träråvaran för kortlivade produkter som bioenergi och massa (papper, kartong). En självklar strategi för ökad klimatnytta är att använda mer av träråvaran till långlivade produkter som under lång tid lagrar kol även efter att träråvaran tagits ut från skogen, och/eller produkter med så stor substitutionsnytta som möjligt. Att använda träråvaran mer effektivt genom exempelvis kaskadanvändning (att samma material används flera gånger i olika produkter), återbruk och återvinning kan också minska behovet av att avverka skog. Mer skog kan då bidra med klimatnytta som kolsänka.

Kuntu m fl (2021) diskuterar hur förändrad användning av träråvara skulle kunna öka klimatnyttan genom kaskadanvändning och prioritering av nya produkter. Träråvarans många användningsområden gör det möjligt att med styrmedel premiera den produktmix och den uppskalning som bidrar till att användningen av träråvara gör så stor klimatnytta som möjligt. Det kan handla om produkter som bioplast, polymerer, kompositmaterial, mattillsatser, kemikalier och farmaceutiska produkter, textilt fibrer, nanofibrer, andra generationens biobränslen, och nya konstruktionsmaterial (t ex Howard m fl 2021*). Detta kan i sin tur leda till att den skogliga sektorn blir integrerad med fler sektorer än idag. En del sådan användning finns redan, men en uppskalning till substantiella volymer kvarstår (t ex Hurmekoski m fl 2022). En överslagsberäkning ger vid handen att produktionsvärdet skulle kunna öka med 10–43 procent, beroende på förädlingsgraden, om upp till en femtedel av virket styrdes om till nya produkter i USA, Kanada, Sverige och Finland (Hurmekoski m fl 2018, 2022). Slutbetänkandet av den svenska bioekonomiutredningen lyfte också fram den möjliga stora värdeökningen genom ökad resurseffektivitet, förädlingsvärde och substitutionsnytta, utan motsvarande ökning av råvarutillgång (Statens offentliga utredningar 2023).

Åtgärder för ökad kolsänka kan tillfälligt eller mer långsiktigt, beroende på åtgärd, påverka tillgången på träråvara och sortiment om mängden grövre virke ökar. Att avverkningsnivåerna redan är höga, samtidigt som kolsänkan ska förstärkas, innebär för industrin att efterfrågan snarare behöver förhålla sig till en begränsad resurs i stället för att efterfrågan skulle styra resursen. Här skiljs förväntningar och möjligheter till stor del åt. Majava m fl (2022) noterar att de sektoriella färdplanerna som förhåller sig till Finlands nationella kolneutralitetsmål 2035 skulle förutsätta en fördubbling av avverkningsnivån från drygt 70 Mm³ (år 2019) till 140 Mm³, vilket knappast är möjligt. Fossilfritt Sverige (2021) förutser en ökad användning av träråvara i svensk industri, inom transporter och i värmesektorn, med en femtedel till 2030 men därefter något mindre till 2045. Över hälften av denna träråvara skulle komma från skogen, främst genom ökat uttag av grot. Skogstillväxten antas öka, men inte den relativa avverkningsnivån (andel av tillväxt). Avverkningen antas även fortsättningsvis drivas av marknaden för skogsindustrins massa- och sågverksprodukter. Hur möjligheter till att importera träråvara utvecklas kan också påverka hur avverkningen utvecklas. Om effektiv teknisk utveckling uteblir på flera områden, bedöms behoven bli större. I Skogsstyrelsens (2022d) skogliga konsekvensanalyser skulle bruttoavverkningen behöva öka till mellan 120 och 150 miljoner m³sk vid 2045 för att tillgodose behoven i Fossilfritt Sveriges branschvisa

färdplaner. Som referens kan nämnas att de senare årens årliga bruttoavverkning har varit drygt 90 miljoner m³sk.

Förändringen av industrin i riktning mot en större andel mer förädlade produkter måste rimligen ske under en övergångsperiod. Styrmedel kan påskynda en övergång, till exempel genom incitament för ett ökat träbyggande. Generellt borde mandatöverskridande beslut och tydliga strategier för klimatomställningen, till exempel rörande flytande biobränslen, underlätta industrins investeringar.

En ”intelligent bioekonomi” (Näyhä 2019) kan bidra både till klimatnytta och högre förädlingsvärde, med ökad lönsamhet i industrin. Det är ändå påfallande oklart idag vad bioekonomi egentligen innebär för den skogliga sektorn, liksom om begreppet alls signalerar någon förändring av synen på skogen som resurs (Pietarinen m fl 2023). Det finns en uppenbar risk att ”bioekonomi” blir ännu en fästpunkt för tanken att det inte behöver ske någon stor förändring i hur skogen brukas (Näyhä 2019). Eftersom tillgången på träråvara är fysiskt begränsad är det troligt att bioekonomin globalt sett alltid kommer att utgöra endast en mindre del av den sammanlagda ekonomin (jfr Hurmekoski m fl 2022).

10. Slutsatser

Klimatfrågan är angelägen. Utsläppen av växthusgaser behöver minska och kolsänkorna förstärkas på kort, medellång och lång sikt om de uppsatta klimatmålen ska kunna nås. Det är möjligt att öka skogens klimatnytta i linje med klimatmål och andra samhällsmål. Detta kan ske på sätt som snabbt gagnar både skogsägaren och samhället och samtidigt bidrar till långsiktiga förutsättningar för skogsindustrins hållbara utveckling. Utöver politikens och industrins egna drivkrafter kan omvärldsfaktorer ha betydelse för skogsnäringens klimatomställning, däribland hur efterfrågan på befintliga produkter och möjliga nya produkter utvecklas, liksom konkurrensen på marknaden, samt hur den biobaserade och den cirkulära ekonomin styrs och utvecklas.

Skogsbrukets villkor är i snabb förändring. Sveriges skogar och hur de brukas vävs oundvikligen in i en framväxande politik för att hantera klimatförändringen och bevara biologisk mångfald. Det ger skogsnäringen fler frågor att ta hänsyn till. Samtidigt utvecklas kunskapsläget idag snabbt inom alla delar av skogssystemet, både gällande utmaningar och om möjligheter, till exempel kring prioriteringar, skogsskötsel och nya affärsmodeller. Men skogsnäringen har hittills varit långsam till förändring gällande dessa. Man har ännu inte riktigt påbörjat sin klimatomställning sett till de nya behoven och möjligheterna utan lever kvar i historiskt betingade mönster, prioriteringar och arbetssätt. Ändå har skogsbruket många gånger tidigare anpassat sig till nya förutsättningar. Det finns inga principiella hinder för en snabbare utveckling och anpassning, eller för en till och med pådrivande roll i klimatomställningen.

Skogen gör klimatnytta idag, men inte på grund av medvetna åtgärder i skogsbruket för att bidra till klimatmålen. Skogen är underutnyttjad sett till den potentiella klimatnytta den skulle kunna göra. Samtidigt överdrivs ofta skogsnäringens nuvarande klimatnytta, gällande både kolsänkan och användningen av träåvara. Det riskerar att motverka förändringar i riktning mot en klimatomställning. Substitutionsfaktorer som används i argumentationen är särskilt problematiska och sannolikt ofta även överskattade. Den svenska politiken har inte heller hittills visat en riktning som skulle förstärka skogens klimatnytta. Snarare har gapet mellan bindande mål och pågående utveckling ökat. På många punkter inom politiken och näringen är försvaret av och möjliggörandet av "business as usual" mer närvarande än förändringsviljan. Det står i kontrast mot de möjligheter som finns för industrin, för staten, och för enskilda skogsägare att ställa om, och att dra nytta av en omställning.

Oavsett hur man ser på klimatfrågan är klimatåtgärder angelägna. Klimatmålen på lång sikt förutsätter stora minskningar i nettoutsläpp redan på kort sikt, under de allra närmaste årtiondena. Det finns en stor potential för skogsbruket att öka skogens klimatnytta genom förstärkt kolsänka och en annan användning av träråvara. Sammantaget är detta inte så omtvistat inom forskningen – ändå möter det motstånd i praktiken och inom politiken. Detta trots att åtgärder för en stärkt kolsänka och ett annat råvarunyttjande går att förena med ett fortsatt aktivt skogsbruk, fortsatt användning av träråvara, en god ekonomisk avkastning, och andra nyttor från skogen. Liksom i andra branscher finns det dock många aktörer inom skogssektorn som skulle påverkas vid förnyelse av metoder och mål. Det finns också skillnader i biofysiska förutsättningar som innebär att det finns en variation gällande exakt vilka åtgärder som är optimala i en viss skog. Hur olika aktörer påverkas behöver tas hänsyn till. Men i slutändan gäller också att om de mål som finns för skogen som kolsänka inte nås, kommer det att kräva både snabbare och större utsläppsminskningar från andra sektorer. Det skulle i sin tur inte enbart innebära att bindande mål missas, utan också riskera att bli dyrt och samhällsekonomiskt ineffektivt.

Åtgärder för ökade klimatnyttor från skogen behöver både vara sådana som ger snabb effekt och sådana som ger effekt över en längre tid. Den största klimatnyttan från skogen under de närmaste årtiondena fås med åtgärder som förstärker kolsänkan, i synnerhet genom måttligare avverkning, mindre intensiv gallring, förlängda omloppstider, skydd och avsättning inklusive av äldre skog, och anpassning av skogsbruksmetoder för att öka skogens motståndskraft mot skador. Detta berör skogsägaren, skogsindustrin, myndigheterna som ger råd och tillhandahåller stöd, och politiken som skyndsamt och effektivt ska styra mot klimatmålen. Att åstadkomma lika stor klimatnytta genom att avverka mer är inte möjligt, med mindre än att det sker en mycket snabb förändring av hur träråvaran används. Tillsammans med förstärkt kolsänka är det dock eftersträvänsvärt att inom skogsindustrin omsätta en större andel av träråvaran till långlivade och moderna produkter med höga substitutionsvärden.

Skogsbruket och skogsnäringen behöver naturligtvis också förhålla sig även till andra förändringar än den påverkan som klimatförändringen direkt eller indirekt har på skogen, och till mer än den direkta skogspolitik. Det kan handla om förändringar i den egna verksamheten (Börjesson 2021), om politik och styrmedel på olika områden (såsom helheten i EU:s gröna giv) och om andra omvärldshändelser (jfr Edwards 2022). Till exempel kan man räkna med att energi- och materialeffektivisering kommer att påverka behovet av träråvara. Drivkrafter utanför skogsnäringen kommer att påverka hur marknader för befintliga och nya produkter utvecklas, och en viss produkts klimatnytta (Harmon 2019). Detta gäller nationellt, liksom på de internationella marknader som är så viktiga för skogsnäringen.

Det finns goda möjligheter att öka skogens klimatnytta för att, tillsammans med åtgärder inom andra sektorer, bidra till klimatmålen. För att förändringar i skogsbruket och skogsnäringen ska kunna ske snabbt behövs dock ändamålsenliga

och effektiva ekonomiska, juridiska och informerande styrmedel. Konkreta politiska beslut och investeringsbeslut från näringslivets sida kan minska osäkerheten hos olika aktörer genom att skapa fästpunkter för utvecklingen.

För att skynda på skogsnäringens klimatomställning är en integrerad politik som harmonierar med alla de mål som berör skogen angelägen, såväl nationellt som för att klara Sveriges internationella mål, inklusive mål på EU-nivå. Här är det viktigt att beakta klimatpolitikens tidsdimension, som etappmål på kort, medellång och lång sikt, även i utformandet av skogspolitikens styrmedel och åtgärder. Viktigt är även att ta vara på synergier mellan klimatrelaterade åtgärder och åtgärder som bidrar till att nå andra nyttor och mål för skogen, som biologisk mångfald, ekonomisk avkastning, rekreation, rennärning, naturturism, samt kulturella värden.

Skogsägare är en heterogen grupp vad gäller förutsättningar och mål. För skogsägares del kan till exempel möjlighet till ersättning för additionell kolsänka och bevarande av inlagrad kol möjliggöra och ge incitament för ökat klimathänsyn som en av skogsägarens målsättningar. Konkret klimathänsyn och klimatåtgärder kan även inkluderas i certifieringar. Förstärkandet av oberoende rådgivning och information, samt kompetensutveckling kring hyggesfritt och naturnära skogsbruk, kolsänkor, mångbruk och sidonyttor, är också viktigt för att principen ”frihet under ansvar” ska fungera i relation till klimatnytta.

Inom skogsindustrin är det centralt med en förnyelse mot en mer resurseffektiv, modern och värdeökande användning av träråvara som förstärker klimatnyttan. En sådan förnyelse behöver stödjas och komma på plats snabbt. Drivkraft från efterfrågesidan är också viktigt för detta. Satsningar på bioekonomi behöver på motsvarande sätt riktas mot en mer modern och klimatnyttig användning av träråvaran.

Det finns stora möjligheter i en fortsatt kunskapsutveckling om skogens klimatnytta. Utöver naturvetenskaplig forskning behövs också mer kunskap om hela skogssystemet och dess omvärld, inklusive samhällsvetenskaplig forskning om drivkrafter och processer, marknader, beteenden, och styrmedel. För forskningens del behövs fler gemensamma nämnare kring skogen och dess nyttor, till exempel koordinerade modelleringsstudier med jämförbara antaganden, nordiska samarbeten, tvärvetenskap, samt generellt mer transparenta analyser av mätningar och resultat från försök och fältstudier i skog.

Det är mycket bråttom att få till stånd skarpa åtgärder. Kolsänkan snarare minskar än ökar i skogen i dagsläget. Den rådande trenden är att träråvara fortsätter att användas som tidigare utan egentlig hänsyn till klimatnyttan. På sina håll förutses dessutom en ökning av avverkningen. Sammantaget ökar detta gapet mellan det som faktiskt händer och de mål som finns. Den övergripande problembeskrivningen och kunskapsgrunden är dock redan välutvecklad och robust kring möjligheterna att utveckla ett skogsbruk och en skogsnärning för skogens alla nyttor, inklusive klimatnyttan.

Referenser

- Aggestam, F. och Pölzl, H. 2020. Downloading Europe: A Regional Comparison in the Uptake of the EU Forest Action Plan. *Sustainability* 12:10, 3999. doi:10.3390/su12103999
- AFRY Management Consulting Oy 2024. *Substitutionspotential och klimateffekter i EU:s skogliga värdekedjor*. Extern rapport. <https://fam.se/sv/ny-unik-rapport-om-skogsbaserade-produkters-klimatnytta-pa-europeisk-niva> (senast hämtad 2024-04-11)
- Ahtikoski, A. m fl 2022. Continuous Cover Forestry and Cost of Carbon Abatement on Mineral Soils and Peatlands. *Frontiers in Environmental Science* 10, 837878. doi:10.3389/fenvs.2022.837878
- Andersson, E. och Keskitalo, E.C.H. 2018. Adaptation to climate change? Why business-as-usual remains the logical choice in Swedish forestry. *Global Environmental Change* 48, 76-85. doi:10.1016/j.gloenvcha.2017.11.004
- Andersson, E. och Keskitalo E.C.H. 2019. Service logics and strategies of Swedish forestry in the structural shifts of forest ownership: challenging the “old” and shaping the “new”. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34:6, 508-520. doi:10.1080/02827581.2019.1604990
- Andersson, E. och Keskitalo, E.C.H. 2021. Constructing forest owner identities and governing decisions and relationships: the owner as distant consumer in Swedish forestry. *Journal of Environmental Planning and Management* 64:11, 1963-1984. doi:10.1080/09640568.2020.1852395
- Andersson, J. och Westholm, E. 2018. Closing the Future: Environmental Research and the Management of Conflicting Future Value Orders. *Science, Technology, & Human Values* 44:2, 237-262. doi:10.1177/0162243918791263
- Appelroth, E. m fl 1948. Julkilausuma. *Metsät~Taloudellinen Aikakauslehti*, 11/1948.
- Appelstrand, M. 2007. *Miljömålet i skogsbruket: Styrning och frivillighet*. Doktorsavhandling (monografi), Rättssociologiska institutionen]. Lunds universitet.
- Appiah Mensah, A. m fl 2021. The millennium shift: Investigating the relationship between environment and growth trends of Norway spruce and Scots pine in northern Europe. *Forest Ecology and Management* 481, 118727. doi:10.1016/j.foreco.2020.118727
- Appiah Mensah, A. m fl 2023. Taller and slenderer trees in Swedish forests according to data from the National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management* 527, 120605. doi:10.1016/j.foreco.2022.120605
- Bakx, T.R.M. m fl 2023. The effect of spatial and temporal planning scale on the trade-off between the financial value and carbon storage in production forests. *Land Use Policy* 127, 106583. doi:10.1016/j.landusepol.2023.106583

- Bellassen, V. m fl 2011. Reconstruction and attribution of the carbon sink of European forests between 1950 and 2000. *Global Change Biology* 17:11, 3274-3292. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02476.x
- Bentsen, N.S. 2017. Carbon debt and payback time – Lost in the forest? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 1211-1217. doi:10.1016/j.rser.2017.02.004
- Bergh m fl 2020a. Skogens kolbalans och klimatet. Skogsskötselserien kapitel 21, 74 s.
- Bergh, J. m fl 2020b. Så kan skogsbruket bidra. I Klimat och markanvändning mot 2030. *KSLAT* 159:4, 11-20.
- Bergkvist, J. m fl 2024. Maintenance and enhancement of forest ecosystem services: a non-industrial private forest owner perspective. *European Journal of Forest Research* 143, 169-185. Doi10.1007/s10342-023-01616-2
- Berndes, G. m fl 2013. Bioenergy and land use change – state of the art. *WIREs Energy and Environment* 2:3, 282-303. doi:10.1002/wene.41
- Birdsey, R. m fl 2018. Climate, economic, and environmental impacts of producing wood for bioenergy. *Environmental Research Letters* 13, 050201. doi:10.1088/1748-9326/aab9d5
- Björstig, T. och Sténs, A. 2018. Social values of forests and production of new goods and services: the views of Swedish family forest owners. *Small-scale Forestry* 17, 125-146. doi:10.1007/s11842-017-9379-9
- Black-Samuelsson S. m fl 2017. Bioenergi på rätt sätt – om hållbar bioenergi i Sverige och andra länder. Rapport av Skogsstyrelsen, Energimyndigheten, Jordbruksverket och Naturvårdsverket. *Rapport* 10, Skogsstyrelsen.
- Blanco, V., Brown, C. och Rounsevell, M. 2015. Characterising forest owners through their objectives, attributes and management strategies. *European Journal of Forest Research* 134, 1027-1041. doi:10342-015-0907-x
- Boström, M. 2003. How state-dependent is a non-state-driven rule-making project? The case of forest certification in Sweden. *Journal of Environmental Policy & Planning* 5:2, 165-180. doi:10.1080/1523908032000121184
- Brukas, V. och Weber, N. 2009. Forest management after the economic transition—at the crossroads between German and Scandinavian traditions, *Forest Policy and Economics* 11, 586-592. doi:10.1016/j.forpol.2009.08.009
- Brunet-Navarro, P. m fl 2021. Climate mitigation by energy and material substitution of wood products has an expiry date. *Journal of Cleaner Production* 303, 127026. doi:10.1016/j.jclepro.2021.127026
- Brynte, B. 1993. Höjer – en ledargestalt. *Skogshistoriska Sällskapet Årsskrift* 3, 43-63.
- Buchholz, T. m fl 2016. A global meta-analysis of forest bioenergy greenhouse gas emission accounting studies. *GCB Bioenergy* 8, 281-289. doi:10.1111/gcbb.12245
- Bushbeck, C. och Pauliuk, S. 2022. Required displacement factors for evaluating and comparing climate impacts of intensive and extensive forestry in Germany. *Carbon Balance and Management* 17:14. doi:10.1186/s13021-022-00216-8
- Börjesson, P. 2021. *Potential för ökad tillförsel av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi – en uppdatering*. Lunds universitet. Avdelningen för miljö- och energisystem, 14 s.
- Camia, A. m fl 2021. The use of woody biomass for energy purposes in the EU. EUR 30548 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg. *JRC122719*. doi:10.2760/831621

- Canadell, J.G. m fl 2021. *Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and feedbacks*. I: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V. m fl (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 673–816, doi:10.1017/9781009157896.007.
- Cazzaniga, N. m fl 2021. Wood Resource Balances of European Union and Member States – Release 2021, European Commission, 2021, *JRC126552*.
- Cherubini, F., Strømman, A.H. och Hertwich, E. 2011. Effects of boreal forest management practices on the climate impact of CO₂ emissions from bioenergy. *Ecological Modelling* 223, 59-66. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.06.021
- Clemmensen, K.E. m fl 2015. Carbon sequestration is related to mycorrhizal fungal community shifts during long term succession in boreal forests. *New Phytologist* 205, 1525-1536. doi:10.1111/nph.13208
- Clemmensen, K.E. m fl 2013. Roots and associated fungi drive long-term carbon sequestration in boreal forest. *Science* 339, 1615-1618. doi:10.1126/science.1231923
- Cowie, A.L. m fl 2021. Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 13, 1210-1231. doi:10.1111/gcbb.12844
- Curtis, K., Guillén, L.A. och Brukas, V. 2023. Creating the landscape, one stand at a time: The dual roles of timber buyers in the nested domains of Swedish forestry. *Forest Policy and Economics* 147, 102884. doi:10.1016/j.forpol.2022.102884
- Dalsgaard, L. m fl 2015. Karbondynamikk ved ulike hogstformer och avvirkningsstrategier. En litteraturstudie med fokus på Oslo kommuneskog. *Oppdragsrapport fra Skog och landskap* 04/2015, Norsk institutt for skog och landskap
- Danley, B., Bjärstig, T. och Sandström, C. 2021. At the limit of volunteerism? Swedish family forest owners and two policy strategies to increase forest biodiversity. *Land Use Policy* 105, 105403. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105403
- Dean, C., Kirkpatrick, J.B. och Friedland, A.J. 2017. Conventional intensive logging promotes loss of organic carbon from the mineral soil. *Global Change Biology* 23, 1-11. doi:10.1111/gcb.13387
- Domke, G. m fl 2019. *Forest land*. I: Buendia, C. m fl (reds.), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC, Switzerland.
- EASAC 2017. Multi-functionality and sustainability in the European Union's forests. European Academies Science Advisory Council *EASAC Policy Report* 32, 44 s. (www.easac.eu)
- EASAC 2018. *Commentary by the European Academies' Science Advisory Council (EASAC) on Forest Bioenergy and Carbon Neutrality*. (www.easac.eu)
- Edwards, P. m fl 2022. Development of forest discourses across Europe: A longitudinal perspective. *Forest Policy and Economics* 135, 102641. doi:10.1016/j.forpol.2021.102641
- EEA (European Environment Agency) 2023a. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2021 and inventory report 2023. Submission to the UNFCCC Secretariat. *EEA/PUBL/2023/044*.

- EEA (European Environment Agency) 2023b. The European biomass puzzle. Challenges, opportunities and trade-offs around biomass production and use in the EU. *EEA Report* 08//2023.
- EEA (European Environment Agency) 2024. *Handbook on the updated LULUCF Regulation EU 2018/841 Guidance and orientation for the implementation of the updated Regulation Version: 2*. EEA activity: FRAMEWORK SERVICE CONTRACT EEA/CET/22/001
- Eggers, J. m fl 2019. Balancing different forest values: Evaluation of forest management scenarios in a multi-criteria decision analysis framework. *Forest Policy and Economics* 103, 55-69. doi:10.1016/j.forpol.2017.07.002
- Eggers, J. och M. Schulte, 2023. Difficult to reach consensus on how climate-smart it is to manage forests, SLU's knowledge bank
<https://www.slu.se/en/research/knowledge-bank/a2023/difficult-to-reach-consensus-on-how-climate-smart-it-is-to-manage-forests/> (senast hämtad 2024-04-05)
- Egnell, G. och Björheden, R. 2013. Options for increasing biomass output from long-rotation forestry. *WIREs Energy and Environment* 2:4, 465-472. doi:10.1002/wene.25
- Ekelund, H. och Hamilton, G. 2011. Skogspolitisk historia. *Skogsstyrelsens rapport* 8A, 251 s.
- Ekholm, T. 2016. Optimal forest rotation age under efficient climate change mitigation. *Forest Policy and Economics* 62, 62-68. doi:10.1016/j.forpol.2015.10.007
- Ekholm, T. 2020. Optimal forest rotation under carbon pricing and forest damage risk. *Forest Policy and Economics* 115, 102131. doi:10.1016/j.forpol.2020.102131
- Ekholm, A. m fl 2023. Long-term yield and biodiversity in stands managed with the selection system and the rotation forestry system: A qualitative review. *Forest Ecology and Management* 537, 120920. doi:10.1016/j.foreco.2023.120920
- Elomina, J. och Pülzl, H. 2021. How are forests framed? An analysis of EU forest policy. *Forest Policy and Economics* 127, 102448. doi:10.1016/j.forpol.2021.102448
- Enander, K.-G. 2003. Den stora skogsrestaureringen eller När modernismen nådde skogsbruket. *Skogshistoriska Sällskapet Årsskrift*, 28-55.
- Energimyndigheten 2021. Första, andra, tredje... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS. *ER* 2021:31, 90 s.
- Erb, K.-H. m fl 2013. Bias in the attribution of forest carbon sinks. *Nature Climate Change* 3, 854-856. doi:10.1038/nclimate2004
- ESABCC 2024. *Towards EU climate neutrality Progress, policy gaps and opportunities*, European Scientific Advisory Board on Climate Change. <https://climate-advisory-board.europa.eu/reports-and-publications/towards-eu-climate-neutrality-progress-policy-gaps-and-opportunities> (senast hämtad 2024-04-05)
- Etzold, S. m fl 2020. Nitrogen deposition is the most important environmental driver of growth of pure, even-aged and managed European forests. *Forest Ecology and Management* 458, 117762. doi:10.1016/j.foreco.2019.117762
- Europaparlamentet och rådet 2018. *Förordning (EU) 2018/841 om inbegripande av utsläpp och upptag av växthusgaser från markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk i ramen för klimat- och energipolitiken fram till 2030 och om ändring av förordning (EU) nr 525/2013 och beslut nr 529/2013/EU*.
- Europaparlamentet och rådet 2021. *Förordning (EU) 2021/1119 av den 30 juni 2021 om inrättande av en ram för att uppnå klimatneutralitet och om ändring av*

- förordningarna (EG) nr 401/2009 och (EU) 2018/1999 (europeisk klimatlag). PE/27/2021/REV/1.
- Europaparlamentet och rådet 2022. *Förslag till inrättande av en unionsram för certifiering av koldioxidupptag*. COM(2022) 672 final.
- Europaparlamentet och rådet 2023. *Förordning (EU) 2023/839 av den 19 april 2023 om ändring av förordning (EU) 2018/841 vad gäller tillämpningsområdet, förenkling av reglerna för rapportering och efterlevnadskontroll och fastställande av medlemsstaternas mål för 2030 och av förordning (EU) 2018/1999 vad gäller förbättrad övervakning, rapportering, uppföljning av framsteg och översyn*.
- Europeiska kommissionen 1998. *A Forestry Strategy for the European Union*; COM(1998)/649 final; European Commission: Brussels, Belgium.
- Europeiska kommissionen 2013. *A New EU Forest Strategy: For Forests and the Forest-Based Sector*; COM(2013) 659 final; European Commission: Brussels, Belgium.
- Europeiska kommissionen 2020a. *Bilaga till kommissionen delegerade förordning om ändring av bilaga IV till Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/841 vad gäller de referensnivåer för skog som medlemsstaterna ska tillämpa under perioden 2021–2025*. C(2020) 7316 final.
- Europeiska kommissionen 2020b. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*. COM(2020) 562 final
- Europeiska kommissionen 2020c. *Commission staff working document impact assessment. Accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*. SWD/2020/176 final.
- Europeiska kommissionen 2021a. *New EU Forest Strategy for 2030*. COM(2021) 572 final.
- Europeiska kommissionen 2021b. *Commission staff working document, impact assessment report accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council amending Regulations (EU) 2018/841 as regards the scope, simplifying the compliance rules, setting out the targets of the Member States for 2030 and committing to the collective achievement of climate neutrality by 2035 in the land use, forestry and agriculture sector, and (EU) 2018/1999 as regards improvement in monitoring, reporting, tracking of progress and review*. SWD/2021/609 final.
- Europeiska kommissionen 2021c. *EU reference scenario 2020 – Energy, transport and GHG emissions – Trends to 2050*. Publications Office of the European Union, Luxembourg. doi:10.2833/35750.
- Eyvindson, K. m fl 2023. Trade-offs between greenhouse gas mitigation and economic objectives with drained peatlands in Finnish landscapes. *Canadian Journal of Forest Research* 53, 444-454. doi:10.1139/cjfr-2022-0101
- Fahlvik, N. m fl 2024. Abandoning conversion from even-aged to uneven-aged forest stands – the effects on production and economic returns. *Scandinavian Journal of Forest Research* 39:2, 77-88. doi:10.1080/02827581.2024.2303401

- Felton, A. m fl 2024. Climate change adaptation and mitigation strategies for production forests: Trade-offs, synergies, and uncertainties in biodiversity and ecosystem services delivery in Northern Europe. *Ambio* 53, 1-16. doi:10.1007/s13280-023-01909-1
- Fischer, K., Stenius, T. och Holmgren, S. 2020. Swedish Forests in the Bioeconomy: Stories from the National Forest Program. *Society & Natural Resources* 33:7, 896-913. doi:10.1080/08941920.2020.1725202
- Forsius, M. m fl 2023. Modelling the regional potential for reaching carbon neutrality in Finland: Sustainable forestry, energy use and biodiversity protection. *Ambio* 52, 1757-1776. doi:10.1007/s13280-023-01860-1
- Forststyrelsen (Metsähallitus) 2024. <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/metsatalous/metsanhoito/jatkuvan-kasvatuksen-havaintoalueet/> (senast hämtad 2024-04-11)
- Fossilfritt Sverige 2021. *Strategi för fossilfri konkurrenskraft, Bioenergi och bioråvara i industrins omställning*, 62 s. https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2021/09/Strategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-bioenergi-och-bioravara-i-industrins-omstallning_webb.pdf (senast hämtad 2024-04-05)
- Fridman, J., Westerlund, B. och Appiah Mensah, A. 2022. *Volymtillväxten för träd i Sverige under 00-talet. Ett faktaunderlag med anledning av den minskande nettotillväxten*. SLU Institutionen för Skoglig resurshushållning. *Arbetsrapport* 540, 24 s.
- Friedlingstein, P. m fl 2022. Global Carbon Budget 2021. *Earth System Science Data* 14:4, 1917-2005. doi:10.5194/essd-14-1917-2022
- Goldstein, A. m fl 2020. Protecting irrecoverable carbon in Earth's ecosystems. *Nature Climate Change* 10, 287-295. doi:10.1038/s41558-020-0738-8
- Gong, P., Knutsson, A. och Elofsson, K. 2022. Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn. Naturvårdsverket *Rapport* 7037, 55 s.
- Grassi, G. m fl 2018. Reconciling global-model estimates and country reporting of anthropogenic forest CO₂ sinks. *Nature Climate Change* 8, 914-920. doi:10.1038/s41558-018-0283-x
- Grassi, G. m fl 2021a. Critical adjustment of land mitigation pathways for assessing countries' climate progress. *Nature Climate Change* 11, 425-434. doi:10.1038/s41558-021-01033-6
- Grassi, G. m fl 2021b. *Brief on the role of the forest-based bioeconomy in mitigating climate change through carbon storage and material substitution*, European Commission, JRC124374. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC124374> (senast hämtad 2024-04-05)
- Grelle, A. m fl 2023. From source to sink – recovery of the carbon balance in young forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 330, 109290. doi:10.1016/j.agrformet.2022.109290
- Guest, G., Cherubini, F. och Hammer Strømman, A. 2013. The role of forest residues in the accounting for the global warming potential of bioenergy. *GCB Bioenergy* 5, 459-466. doi:10.1111/gcbb.12014
- Guo, J. och Gong, P. 2017. The potential and cost of increasing forest carbon sequestration in Sweden. *Journal of Forest Economics* 29, 78-86. doi:10.1016/j.jfe.2017.09.001

- Gustavsson, L. m fl 2017. Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67, 612-624. doi:10.1016/j.rser.2016.09.056
- Gustavsson, L. m fl 2021. Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 136, 110435. doi:10.1016/j.rser.2020.110435
- Haltia, E. 2022. Metsänomistajien suhtautuminen. I: Routa, J. och Huuskonen, S. (red.). *Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus: Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 40/2022. Luonnonvarakeskus, Helsinki, 125-128.
- Hammar, T. m fl 2022. Climate effects of a forestry company – including biogenic carbon fluxes and substitution effects (2021 update). *Sveriges lantbruksuniversitets rapport* (Department of Energy and Technology) 120, 61 s.
- Hannerz, M., Nordin, A. och Saksa, T. (red.) 2017. Hyggesfritt skogsbruk. Erfarenheter från Sverige och Finland. *Future Forests Rapportserie* 2017:1. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå, 74 s.
- Harmon, M.E. 2019. Have product substitution carbon benefits been overestimated? A sensitivity analysis of key assumptions. *Environmental Research Letters* 14, 065008. doi:10.1088/1748-9326/ab1e95
- Heder Brandt, P. m fl 2023. "Profitability is sustainability:" framing of forest management practices by the Swedish forest industry. *Scandinavian Journal of Forest Research* 38:7-8, 429-441. doi:10.1080/02827581.2023.2252740
- Heinonen, T. m fl 2017. Scenario analyses for the effects of harvesting intensity on development of forest resources, timber supply, carbon balance and biodiversity of Finnish forestry. *Forest Policy and Economics* 80, 80-98. doi:10.1016/j.forpol.2017.03.011
- Heinonen, T., Pukkala, T. och Asikainen, A. 2020. Variation in forest landowners' management preferences reduces timber supply from Finnish forests. *Annals of Forest Science* 77, 31. doi:10.1007/s13595-020-00939-z
- Henttonen, H., Nöjd, P. och Mäkinen, H. 2017. Environment-induced growth changes in the Finnish forests during 1971–2010 – An analysis based on National Forest Inventory. *Forest Ecology and Management* 386, 22-36. doi:10.1016/j.foreco.2016.11.044
- Henttonen, H., Nöjd, P. och Mäkinen, H. 2024. Environment-induced growth changes in forests of Finland revisited – a follow-up using an extended data set from the 1960s to the 2020s. *Forest Ecology and Management* 551, 121515. doi:10.1016/j.foreco.2023.121515
- Hertog, I.M., Brogaard, S. och Krause, T. 2022. Barriers to expanding continuous cover forestry in Sweden for delivering multiple ecosystem services. *Ecosystem Services* 53, 101392. doi:10.1016/j.ecoser.2021.101392
- Hiltunen, M., Strandman, H. och Kilpeläinen, A. 2021. Optimizing forest management for climate impact and economic profitability under alternative initial stand age structures. *Biomass and Bioenergy* 147, 106027. doi:10.1016/j.biombioe.2021.106027
- Hlásny, T. m fl 2021. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management* 290, 119075. doi:10.1016/j.foreco.2021.119075

- Holmberg, L.-E. 2005. Skogshistoria år från år 1177-2005 – Skogspolitiska beslut och andra viktiga händelser i omvärlden som påverkat Skogsvårdsorganisationens arbete. *Rapport 5*, Skogsstyrelsen, 55 s.
- Holmgren, S. m fl 2022. Whose transformation is this? Unpacking the ‘apparatus of capture’ in Sweden’s bioeconomy. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 42, 44-57. doi:10.1016/j.eist.2021.11.005
- Holmgren, P. 2020. *Climate effects of the forest-based sector in the European Union*. Rapport beställd av Confederation of European Paper Industries (CEPI). <https://www.cepi.org/cepi-study-climate-effects-of-the-forest-based-sector-in-the-european-union/> (senast hämtad 2024-04-05)
- Holmgren, P. och Kolar, K. 2019. *Reporting the overall climate impact of a forestry corporation the case of SCA*. Rapport beställd av SCA, 21 s. <https://www.sca.com/siteassets/media/press-releases-and-reports/documents/2019/20190225-sca-redovisar-sin-klimatpaverkan-kompenserar-for-lastbilar-och-inrikesflyg-sv-0-3217030.pdf> (senast hämtad 2024-04-05)
- Horne, P. m fl 2020. Legitimacy of forest management and practices – Forest Owner 2020. *PTT Reports* 266.
- Howard, C. m fl 2021. Wood product carbon substitution benefits: a critical review of assumptions. *Carbon Balance Management* 16:9. doi:10.1186/s13021-021-00171-w
- Hurmekoski, E. m fl 2018. Diversification of the forest-based sector: role of new products. *Canadian Journal of Forest Research* 48, 1417-1432. doi:10.1139/cjfr-2018-0116
- Hurmekoski, E. m fl 2020. Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. *Journal of Industrial Ecology* 24:4, 899-921. doi:10.1111/jiec.12981
- Hurmekoski, E. m fl 2021. Substitution impacts of wood use at the market level: a systematic review. *Environmental Research Letters* 16, 123004. doi:10.1088/1748-9326/ac386f
- Hurmekoski, E. m fl 2022. *Outlook for the Forest-Based Bioeconomy*, I: Hetemäki m fl (red.), Forest Bioeconomy and Climate Change, 55-90.
- Hynynen, J. m fl (red.) 2023. Metsälain ilmastovaikutusten arviointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 49/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 88 s.
- Hysing, E. 2009. Governing without government? The private governance of forest certification in Sweden. *Public Administration* 87:2, 312-326. doi:10.1111/j.1467-9299.2008.01750.x
- Hyrynen, M. m fl 2023. European forest sinks and climate targets: past trends, main drivers, and future forecasts. *European Journal of Forest Research* 142, 12071224. doi:10.1007/s10342-023-01587-4
- IPCC 2022. *Summary for Policymakers*. I: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Shukla, P.R. m fl (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi:10.1017/9781009157926.001.
- IEA 2024, <https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage/bioenergy-with-carbon-capture-and-storage#tracking> (senast hämtad 2024-04-10)

- IRENA 2019. *Bioenergy from boreal forests: Swedish approach to sustainable wood use*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- James, J. och Harrison, R. 2016. The effect of harvest on forest soil carbon: A meta-analysis. *Forests* 7, 308. doi:10.3390/f7120308
- Jonsson, M. m fl 2020. Stand age and climate influence forest ecosystem service delivery and multifunctionality. *Environmental Research Letters* 15, 0940a8. doi:10.1088/1748-9326/abaf1c
- Jonsson, R. m fl 2021. Boosting the EU forest-based bioeconomy: Market, climate, and employment impacts. *Technological Forecasting & Social Change* 163, 120478. doi:10.1016/j.techfore.2020.120478
- Jord- och skogsbruksministeriet 2022. Statsrådets redogörelse om en klimatplan för markanvändningssektorn. *Jord- och skogsbruksministeriets publikationer* 2022:16, 117 s.
- Juutinen, A. m fl 2018. The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management. *Forest Policy and Economics* 90, 115-127. doi:10.1016/j.forpol.2018.02.005
- Jørgensen, K. m fl 2021. Forest management to increase carbon sequestration in boreal *Pinus sylvestris* forests. *Plant and Soil* 466, 165-178. doi:10.1007/s11104-021-05038-0
- Jørgensen, K. m fl 2022. Links between boreal forest management, soil fungal communities and below-ground carbon sequestration. *Functional Ecology* 36:2, 392-405. doi:10.1111/1365-2435.13985
- Kalliokoski, T. m fl 2020. Mitigation impact of different harvest scenarios of Finnish forests that account for albedo, aerosols, and trade-offs of carbon sequestration and avoided emissions. *Frontiers in Forests and Global Change* 3, 562004. doi:10.3389/ffgc.2020.562044
- Kangas, J. och Ollikainen, M. 2023. Reforming a pre-existing biodiversity conservation scheme: Promoting climate co-benefits by a carbon payment. *Ambio* 52, 1847-1860. doi:10.1007/s13280-023-01833-4
- Karppinen, H., Hänninen, H. och Horne, P. 2020. Suomalainen metsänomistaja 2020. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 30/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 73 s.
- Keeton, W.S. 2018. *Source or Sink? Carbon Dynamics in Eastern Old-Growth Forests and Their Role in Climate Change Mitigation*, I: Barton, A.M. och Keeton, W.S. (red.), *Ecology and Recovery of Eastern old-growth forests*. Island Press, Washington D.C., USA, 267-288.
- Kellomäki, S., Strandman, H. och Peltola, H. 2019. Effects of even-aged and uneven-aged management on carbon dynamics and timber yield in boreal Norway spruce stands: a forest ecosystem model approach. *Forestry* 92, 635-647. doi:10.1093/forestry/cpz040
- Klimatpolitiska rådet 2024. Klimatpolitiska rådets rapport 2024, 146 s.
- Konjunkturinstitutet 2021. *Skogen, klimatet och politiken*. Årlig Miljö, ekonomi, och politik -rapport, 91+5 s.
- Konjunkturinstitutet 2022. *Fit for 55*. Årlig Miljö, ekonomi, och politik -rapport, 80 s.
- Korkiakoski, M. m fl 2023. Partial cutting of a boreal nutrient-rich peatland forest causes radically less short-term on-site CO₂ emissions than clear-cutting. *Agricultural and Forest Meteorology* 332, 109361. doi:10.1016/j.agrformet.2023.109361

- Korosuo, A. m fl 2023. The role of forests in the EU climate policy: are we on the right track? *Carbon Balance and Management* 18:15. doi:10.1186/s13021-023-00234-0
- Koskela, T. m fl 2021. Metsien ekosysteemipalvelut ja jokamiehenoikeus metsänomistajan näkökulmasta – Metsänomistaja 2020. *PTT raportteja* 267, 107 s.
- Kotiaho, J. S. m fl 2022. Jatkuvaiteisen metsänkäsitteyn ympäristö- ja talousvaikutukset. *Suomen Luontopaneelin julkaisuja* 1A/2022, 16 s. doi:10.17011/jyx/SLJ/2022/1a
- Kronholm, T. 2015. Forest Owners' Associations in a Changing Society. Doktorsavhandling. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae* 2015:102, 65 s.
- Kronholm, T och Staal Wästerlund, D.S. 2013. District Council Members and the Importance of Member Involvement in Organization Renewal Processes in Swedish Forest Owners' Associations. *Forests* 4, 404-432. doi:10.3390/f4020404
- Kröger, M. och Raitio, K. 2017. Finnish forest policy in the era of bioeconomy: A pathway to sustainability? *Forest Policy and Economics* 77, 6-15. doi:10.1016/j.forpol.2016.12.003
- KSLA 2009. <https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2010/10/The-Swedish-Forestry-Model.pdf> (senast hämtad 2024-04-05)
- Kumar-Baul, T. m fl 2017. Climate Change Mitigation Potential in Boreal Forests: Impacts of Management, Harvest Intensity and Use of Forest Biomass to Substitute Fossil Resources. *Forests* 8, 455. doi:10.3390/f8110455
- Kunttu, J. m fl 2021. Targeting net climate benefits by wood utilization in Finland: Participatory backcasting combined with quantitative scenario exploration. *Futures* 134, 102833. doi:10.1016/j.futures.2021.102833
- Lamb, W.F. m fl 2024. The carbon dioxide removal gap. *Nature Climate Change* (utgiven digitalt 2024-05-03). doi:10.1038/s41558-024-01984-6
- Laudon, H. och Hasselquist, E.M. 2023. Applying continuous-cover forestry on drained boreal peatlands; water regulation, biodiversity, climate benefits and remaining uncertainties. *Trees, Forests and People* 11, 100363. doi:10.1016/j.tfp.2022.100363
- Lehtonen, A. m fl 2023. Potential of continuous cover forestry on drained peatlands to increase the carbon sink in Finland. *Scientific Reports* 13, 15510. doi:10.1038/s41598-023-42315-7
- Leppä, K. m fl 2020a. Selection cuttings as a tool to control water table level in boreal drained peatland forests. *Frontiers in Earth Science* 8, 576510. doi:10.3389/feart.2020.576510
- Leppä, K. m fl 2020b. Vegetation controls of water and energy balance of a drained peatland forest: Responses to alternative harvesting practices. *Agricultural and Forest Meteorology* 295, 108198. doi:10.1016/j.agrformet.2020.108198
- Leskinen, P. m fl 2018. Substitution effects of wood-based products in climate change mitigation. *From Science to Policy* 7. European Forest Institute, 27 s.
- Leturcq, P. 2020. GHG displacement factors of harvested wood products: the myth of substitution. *Scientific Reports* 10, 20752. doi:10.1038/s41598-020-77527-8
- Lidestav, G. och Westin, K. 2023. The Impact of Swedish Forest Owners' Values and Objectives on Management Practices and Forest Policy Accomplishment. *Small-scale Forestry* 22, 435-456. doi:10.1007/s11842-022-09538-4

- Lindahl, B.D. m fl 2021. A group of ectomycorrhizal fungi restricts organic matter accumulation in boreal forest. *Ecology Letters* 24, 1341-1351. doi:10.1111/ele.13746
- Lindahl, K.B. m fl 2017. The Swedish forestry model: More of everything? *Forest Policy and Economics* 77, 44-55. doi:10.1016/j.forpol.2015.10.012
- Lindroth, A. 2023. Clarifying the carbon balance recovery time after clear-cutting. *Global Change Biology* 29:15, 4178-4179. doi:10.1111/gcb.16771
- LUKE 2022. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/selvitys-metsien-kasvun-aleneman-syyt-ja-uusien-kasvihuonekaasuinventaarion-tulosten-vaikutukset-suomen-metsien-vertailutason-saavuttamiseen-kaudella-20212025> (senast hämtad 2024-04-10)
- LUKE 2023. <https://www.luke.fi/fi/seurannat/maatalous-ja-lulucfsektorin-kasvihuonekaasuinventaarion-kasvihuonekaasuinventaarion-ennakkotietojen-mukaan-maankayttosektorin-paastot-kasvoivat-vuonna-2022> (senast hämtad 2024-04-10)
- LUKE 2024. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/hakkuut-vahenivat-69-miljoonaan-kuutiometriin-vuonna-2023> (senast hämtad 2024-04-10)
- Lundmark, H., Östlund, L. och Josefsson, T. 2021. Continuity forest or second-generation forest? Historic aerial photos provide evidence of early clear-cutting in northern Sweden. *Silva Fennica* 55:1, 10460. doi:10.14214/sf.10460
- Lundmark, T. m fl 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests* 5, 557-578. doi:10.3390/f5040557
- Lundmark, T. m fl 2016. Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden. *Ambio* 45:Supplement 2, 203-213. doi:10.1007/s13280-015-0756-3
- Lundmark, T. m fl 2018. Carbon balance in production forestry in relation to rotation length. *Canadian Journal of Forest Research* 48:6, 672-678.
- Lundqvist, L. 2017. Tamm Review: Selection system reduces long-term volume growth in Fennoscandic uneven-aged Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management* 391, 362-375. doi:10.1016/j.foreco.2017.02.011
- Luyssaert, S. m fl 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213-215. doi:10.1038/nature07276
- Luyssaert, S. m fl 2021. Reply to: Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 591, E24-E25. doi:10.1038/s41586-021-03267-y
- Löfmarck, E., Uggla, Y. och Lidskog, R. m fl 2017. Freedom with what? Interpretations of “responsibility” in Swedish forestry practice. *Forest Policy and Economics* 75, 34-40. doi:10.1016/j.forpol.2016.12.004
- Majava, A. m fl 2022. Sectoral low-carbon roadmaps and the role of forest biomass in Finland’s carbon neutrality 2035 target. *Energy Strategy Reviews* 41, 100836. doi:10.1016/j.esr.2022.100836
- Mason, W.J. m fl 2022. Continuous cover forestry in Europe: usage and the knowledge gaps and challenges to wider adoption. *Forestry* 95, 1-12. doi:10.1093/forestry/cpab038
- May, W., Miller, P.A. och Smith, B. 2020. The importance of land-atmosphere biophysical interactions for regional climate and terrestrial ecosystem change: Improved understanding to inform Swedish national climate action. *CEC Synthesis Report No. 5*. Centre for Environmental and Climate Research, Lund University, Lund, Sweden.

- Mayer, M. m fl 2020. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management* 466, 118127. doi:10.1016/j.foreco.2020.118127
- Mehtätalo, L. 2023. Suojelualueiden vaikutus hiilinieluihin ja -varastoihin. I: Hynynen, J. m fl (red.), Metsälain ilmastovaikutusten arviointi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 49/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 45-59.
- Minkkinen, K. m fl 2020. Nitrous oxide emissions of undrained, forestry-drained, and rewetted boreal peatlands. *Forest Ecology and Management* 478, 118494. doi:10.1016/j.foreco.2020.118494
- Mittuniversitetet (red.) 2022, *Skogens värden – forskares reflektioner*, 185 s.
- Mustalahti, I. 2018. The responsive bioeconomy: The need for inclusion of citizens and environmental capability in the forest based bioeconomy. *Journal of Cleaner Production* 172, 3781-3790. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.132
- Mutanen, A., Leppänen, J. och Viitala, E.-J. 2023. Toimintaympäristön muutokset ja nykyisen metsälain, päivitettyjen kansallisten strategioiden ja ilmastosuunnitelmien sekä EU:n LULUCF-asetuksen ilmastotavoitteet. Hynynen J. m fl (red.), Metsälain ilmastovaikutusten arviointi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 49/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 8-21.
- Myllyviita, T. m fl 2021. Wood substitution potential in greenhouse gas emission reduction – review on current state and application of displacement factors. *Forest Ecosystems* 8:42. doi:10.1186/s40663-021-00326-8
- Mäkipää, R. m fl 2015. Mitigation of climate change with biomass harvesting in Norway spruce stands: are harvesting practices carbon neutral? *Canadian Journal of Forest Research* 45:2, 217-225. doi:10.1139/cjfr-2014-0120
- Mäkipää, R. m fl 2023. How does management affect soil C sequestration and greenhouse gas fluxes in boreal and temperate forests? – A review. *Forest Ecology and Management* 529, 120637. doi:10.1016/j.foreco.2022.120637
- Mönkkönen, M. m fl 2022. More wood but less biodiversity in forests in Finland: a historical evaluation. *Memoranda Soc. Fauna Flora Fennica* 98:Supplement 2, 1-11.
- Nabuurs, G.-J., Arets, J.M.M. och Schelhaas, M.-J. 2017a. European forests show no carbon debt, only a long parity effect. *Forest Policy and Economics* 75, 120-125. doi:10.1016/j.forpol.2016.10.009
- Nabuurs, G.-J. m fl 2017b. By 2050 the mitigation effects of EU forests could Nearly double through Climate Smart Forestry. *Forests* 8, 484. doi:10.3390/f8120484
- Nabuurs, G.-J. m fl 2022. *Agriculture, Forestry and Other Land Uses (AFOLU)*. I: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Shukla, P.R. m fl (red.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi:10.1017/9781009157926.009
- Naturvårdsverket 2020. Genomförande av Parisavtalet. Underlag för regeringens fortsatta genomförande av Parisavtalet. Redovisning av ett regeringsuppdrag. *Skrivelse*, NV-00049-20.
- Naturvårdsverket 2022. Styrmedel för att öka kolsänkor i skogssektorn. *Rapport* 7037.
- Naturvårdsverket 2023a. *National Inventory Report Sweden 2023, Greenhouse Gas Emission Inventories 1990-2021*, 596 s.

- Naturvårdsverket 2023b. Fördjupad utvärdering av Sveriges miljömål 2023. Naturvårdsverket *Rapport* 7088.
- Naturvårdsverket, Skogsstyrelsen, Jordbruksverket 2022. Förslag för ökade kolsänkor i skogs- och jordbrukssektorn. Naturvårdsverket, *Rapport* 7046.
- Nichivorel, L. m fl 2018. How private are Europe's private forests? A comparative property rights analysis. *Land Use Policy* 76, 535-552. doi:10.1016/j.landusepol.2018.02.034
- Nieminen, M. m fl 2018. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands? *Forest Ecology and Management* 424, 78-84. doi:10.1016/j.foreco.2018.04.046
- Nilsen P. och Strand L.T. 2013. Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands. *Silva Fennica* 47:4, 1024. doi:10.14214/sf.1024
- Nilsson, M. 2018. Skydda lagom – en ESO-rapport om miljömålet Levande skogar. *Rapport till Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi* 2018:4. Regeringskansliet, 160 s.
- Nilsson, M. 2023. Temperaturhöjning i klimatpolitiken – en ESO-rapport om EU:s nya lagstiftning i svensk kontext. Rapport till Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi 2023:7. *Statens offentliga utredningar*, 156 s.
- Norton, M. m fl 2019. Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 11, 1256-1263. doi:10.1111/gcbb.12643
- Norton, M. m fl 2022. Time is of the essence when it comes to forest bioenergy. *GCB Bioenergy* 14:2, 108-109. doi:10.1111/gcbb.12905
- Nunes Romeiro, J.M.N. m fl 2022. Natural disturbances risks in European Boreal and Temperate forests and their links to climate change – A review of modelling approaches. *Forest Ecology and Management* 509, 120071. doi:10.1016/j.foreco.2022.120071
- Näyhä, A. 2019. Transition in the Finnish forest-based sector: Company perspectives on the bioeconomy, circular economy and sustainability. *Journal of Cleaner Production* 209, 1294-1306. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.260
- Onarheim, K. m fl 2017. Performance and costs of CCS in the pulp and paper industry part 1: Performance of amine-based post-combustion CO₂ capture. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 59, 58-73. doi:10.1016/j.ijggc.2017.02.008
- Onida, M. 2020. Forest and forestry policy between the EU and its Member States. *elni Review* 16-24. doi:10.46850/elni.2020.004
- Pan, W. m fl 2020. Carbon leakage in energy/forest sectors and climate policy implications using meta-analysis. *Forest Policy and Economics* 115, 102161. doi:10.1016/j.forpol.2020.102161
- Parisa, Z. m fl 2022. The time value of carbon storage. *Forest Policy and Economics* 144, 102840. doi:10.1016/j.forpol.2022.102840
- Pecurul-Botines, M. m fl 2023. Meeting the European Union's Forest Strategy goals: A comparative European assessment. *From Science to Policy* 15. European Forest Institute. doi:10.36333/fs15
- Peichl, M. m fl 2023a. Landscape-variability of the carbon balance across managed boreal forests. *Global Change Biology* 29:4, 1119-1132. doi:10.1111/gcb.16534

- Peichl, M. m fl 2023b. On the uncertainty in estimates of the carbon balance recovery time after forest clear-cutting. *Global Change Biology* 29:15, e1-e3. doi:10.1111/gcb.16772
- Peltoniemi, M. m fl 2023. Hiilinieluja ja ilmastohyötyjä hallituin riskein: Metsäsektorin ohjauskeinojen monitieteinen analyysi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 110/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 164 s.
- Petersson, H. m fl 2022. On the role of forests and the forest sector for climate change mitigation in Sweden. *GCB Bioenergy* 14, 793-813. doi:10.1111/gcbb.12943
- Peura, M. m fl 2022. Jatkuvapeitteisen metsänkäsittelyn vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, vesistöihin, ilmastoon, virkistyskäyttöön ja metsätuhoriskeihin. *Suomen Luontopaneelin julkaisuja* 1B/2022, 82 s. doi:10.17011/jyx/SLJ/2022/1b
- Pietarinen, N. m fl 2023. Discourses in Finnish forest policy: Cherry-picking or sustainability? *Forest Policy and Economics* 147, 102897. doi:10.1016/j.forpol.2022.102897
- Pilli, R. m fl 2017. The European forest sector: past and future carbon budget and fluxes under different management scenarios. *Biogeosciences* 14, 2387-2405. doi:10.5194/bg-14-2387-2017
- Pingoud, K. m fl 2010. Assessing the Integrated Climatic Impacts of Forestry and Wood Products. *Silva Fennica* 44:1, 155-175. doi:10.14214/sf.166
- Pingoud, K. m fl 2018. Trade-offs between forest carbon stocks and harvests in a steady state – A multi-criteria analysis. *Journal of Environmental Management* 210, 96-103. doi:10.1016/j.jenvman.2017.12.076
- Pretzsch, H. m fl 2023. Forest growth in Europe shows diverging large regional trends. *Scientific Reports* 13, 15373. doi:10.1038/s41598-023-41077-6
- Pukkala, T. 2017. Does management improve the carbon balance of forestry. *Forestry* 90, 125-135. doi:10.1093/forestry/cpw043
- Pukkala, T. 2018. Carbon forestry is surprising. *Forest Ecosystems* 5:11. doi:10.1186/s40663-018-0131-5
- Rautio, P. m fl 2023. Jatkuvan kasvatuksen monimuotoisuus- ja ilmastohyödyt. I: Hynynen J. m fl (red.), Metsälain ilmastovaikutusten arviointi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 49/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 8-21.
- Rebane, S. m fl 2019. Direct measurements of carbon exchange at forest disturbance sites: a review of results with the eddy covariance method. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34:7, 585-597. doi:10.1080/02827581.2019.1659849
- Regeringen 2022. Tilläggsdirektiv till Miljömålsberedningen (M 2010:04) om en strategi för hur Sverige ska leva upp till EU:s åtaganden inom biologisk mångfald respektive nettoupptag av växthusgaser från markanvändningssektorn (LULUCF).
- Regeringen 2023. Regeringens klimathandlingsplan – hela vägen till nettonoll. *Regeringens skrivelse* 2023/24:59, 245 s.
- Regeringen 2024. Kommittédirektiv. En robust skogspolitik som ser skogen som en resurs. *Dir.* 2024:16.
- Regeringskansliet 2018. Strategi för Sveriges nationella skogsprogram. Bilaga till protokoll IV 5 vid regeringssammanträde den 17 maj 2018, N2018/03142/SK
- Repo, A., Lehtonen, A. och Sarkkola, S. 2022. Metsien hiilen kierto. I: Routa, J. och Huuskonen, S. (red.). Jatkuvapeitteinen metsänkasvatus: Synteesiraportti. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 40/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki, 9-18.

- Repo, A., Tuovinen, J.-P. och Liski, J. 2015. Can we produce carbon and climate neutral bioenergy? *GCB Bioenergy* 7, 253-262. doi:10.1111/gcbb.12134
- Routa, J. och Huuskonen, S. (red.) 2022. Jatkuvaiteinen metsänkasvatus: Synteesiraportti. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 40/2022. Luonnonvarakeskus, Helsinki, 132 s.
- Rummukainen, M. 2021. *Skogens klimatnyttor – en balansakt i prioritering (utökad utgåva)*. CEC Rapport 6, Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet, Lund, Sverige.
- Saksa, T. (red.) 2020. Ilmastomuutos ja metsänhoito: Yhteenvedo ilmastonmuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 98/2020. Luonnonvarakeskus, Helsinki, 48 s.
- Sandström, C. m fl 2020. Policy goals and instruments for achieving a desirable future forest: Experiences from backcasting with stakeholders in Sweden. *Forest Policy and Economics* 111, 102051. doi:10.1016/j.forpol.2019.102051
- Sathre, R. och O'Connor, J. 2010. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science and Policy* 13, 104-114. doi:10.1016/j.envsci.2009.12.005
- Schulte, M. m fl 2022. Nordic forest management towards climate change mitigation: time dynamic temperature change impacts of wood product systems including substitution effects. *European Journal of Forest Research* 141, 845-863. doi:10.1007/s10342-022-01477-1
- Schulz, T., Lieberherr, E. och Zabel, A. 2022. How national bioeconomy strategies address governance challenges arising from forest-related trade-offs. *Journal of Environmental Policy & Planning* 24, 123-136. doi:10.1080/1523908X.2021.1967731
- Senf, C. m fl 2018a. Canopy mortality has doubled in Europe's temperate forests over the last three decades. *Nature Communications* 9, 4978. doi:10.1038/s41467-018-07539-6
- Senf, C. och Seidl, R. 2018b. Persistent impacts of the 2018 drought on forest disturbance regimes in Europe. *Biogeosciences* 18, 5223-5230. doi:10.5194/bg-18-5223-2021
- Senf, C. och Seidl, R. 2021. Storm and fire disturbances in Europe: Distribution and trends. *Global Change Biology* 27, 3605-3619. doi:10.1111/gcb.15679
- Seppälä, J. m fl 2019. Effect of increased wood harvesting and utilization on required greenhouse gas displacement factors of wood-based products and fuels. *Journal of Environmental Management* 247, 580-587. doi:10.1016/j.jenvman.2019.06.031
- Seppälä, J. m fl 2022. Metsät ja ilmasto: Hakkuut, hiilinielut ja puun käytön korvaushyödyt. *Suomen ilmastopaneelin raportti* 3/2022, 70 s. doi:10.31885/9789527457122
- Skogsindustrierna 2018. *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Skogsnäringen*, 25 s. <https://fossilfrittverige.se/roadmap/skogsnaringen/> (senast hämtad 2024-04-09)
- Skogsindustrierna 2019. *Rapport: Så stort är skogsnäringens bidrag i klimatarbetet*, 16 s. <https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/bilder-och-dokument/rapporter/klimat/rapport-skogsnaringens-klimatbidrag.pdf> (senast hämtad 2024-04-10)
- Skogsindustrierna 2020. <https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/en-viktig-bransch/klimat/hur-fungerar-skogens-grona-kolcykel/> (senast hämtad 2024-04-09).

- Skogsindustrierna 2022. *Svensk skogsnärings klimateffekt 1990-2020. Vad säger fakta*, 35 s. <https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/bilder-och-dokument/rapporter/klimat/svensk-skogsnarings-kimateffekt-1990-2020.pdf> (senast hämtad 2024-04-09)
- Skogsindustrierna 2023. *2040 skogsindustrins framtidsagenda*, 15 s. https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/bilder-och-dokument/framtidsagendan/dokument/framtidsagendan_sv.pdf (senast hämtad 2024-04-09)
- Skogsstyrelsen 2001. Skogsvårdsorganisationens utvärdering av skogspolitikens effekter SUS 2001. *Meddelande 1-2002*, 275 s.
- Skogsstyrelsen 2019a. Skogsskötsel med nya möjligheter. Rapport från Samverkansprocess skogsproduktion. *Rapport 2019/24*, 322 s.
- Skogsstyrelsen 2019b. Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder. *Rapport 2019/23*, 63 s.
- Skogsstyrelsen 2021a. Åtgärder i skogsbruket 2020. *Statistiska meddelanden JO16 SM 2001*, uppdaterad 2021-10-06, 24 s.
- Skogsstyrelsen 2021b. Hyggesfritt skogsbruk. Skogsstyrelsens definition. *Rapport 2021/8*, 66 s.
- Skogsstyrelsen 2022a. Levande skogar Fördjupad utvärdering 2023. *Rapport 2022/12*, 153 s.
- Skogsstyrelsen 2022b. Översikt av åtgärder förökad kolsänka i skogen Kunskapsunderlag. *Rapport 2022/15*, 66 s.
- Skogsstyrelsen 2022c. Läckageeffekter från skog och skogsbruk. Kunskapsunderlag. *Rapport 2022/18*, 65 s.
- Skogsstyrelsen 2022d. Skogliga konsekvensanalyser 2022 – syntesrapport. Regeringsuppdrag. *Rapport 2022/11*, 67s.
- Skogsstyrelsen 2023a. *Bruttoavverkning 2020 med preliminär statistik för 2021 och prognos för 2022. Statistik från Skogsstyrelsen.* <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/statistikfaktablad/jo0312-statistikfaktablad.pdf> (senast hämtad 2024-04-11)
- Skogsstyrelsen 2023b. Effect of some forestry measures on the carbon sink in Sweden. *Rapport 2023/10*, 55 s.
- Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket 2023. Förutsättningar för hyggesfritt skogsbruk och definition av naturnära skogsbruk i Sverige. Regeringsuppdrag. Skogsstyrelsens *Rapport 2023-16*, 145 s.
- Skytt, T., Englund, G. och Jonsson, B.-G. 2021. Climate mitigation forestry–temporal trade-offs. *Environmental Research Letters* 16, 114037. doi:10.1088/1748-9326/ac30fa
- Skytt, T., Englund, G. och Jonsson, B.-G. 2022. Reply to Comment on ‘Climate mitigation forestry–temporal trade-offs’. *Environmental Research Letters* 17, 048002. doi:10.1088/1748-9326/ac57e7
- SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) 2019. *Skogsdata 2019*. Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU Umeå, 135 s.

- SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) 2024. *Skogsdata 2024*. Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU Umeå, 166 s.
- Soimakallio, S. m fl 2021. On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 26:4. doi:10.1007/s11027-021-09942-9
- Soimakallio, S. m fl 2022. Closing an open balance: The impact of increased tree harvest on forest carbon. *GCB Bioenergy* 14, 989-1000. doi:10.1111/gcbb.12981
- Sonesson, J. m fl 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. *Arbetsrapport från Skogforsk* 926-2017.
- Sotirov, M. och Storch, S. 2018. Resilience through policy integration in Europe? Domestic forest policy changes as response to absorb pressure to integrate biodiversity conservation, bioenergy use and climate protection in France, Germany, the Netherlands and Sweden. *Land Use Policy* 79, 977-989. doi:10.1016/j.landusepol.2017.04.034
- Sotirov, M., Winkel, G. och Eckerberg, K. 2021. The coalitional politics of the European Union's environmental forest policy: Biodiversity conservation, timber legality, and climate protection. *Ambio* 50, 2153-2167. doi:10.1007/s13280-021-01644-5
- Statens offentliga utredningar 2023. En hållbar bioekonomistrategi – för ett välmående fossilfritt samhälle. Slutbetänkande av bioekonomiutredningen. *SOU* 2023:84.
- Statsrådet 2023. Ett starkt och engagerat Finland. Regeringsprogrammet för statsminister Petteri Orpos regering 20.6.2023. *Statsrådets publikationer* 2023:59, 260 s.
- Stendahl, J. 2017. *Tema: skogsmarkens kolförråd*. I: Skogsdata 2017, Sveriges lantbruksuniversitet, 13-23.
- Sténs, A. och Mårald, E. 2020. "Forest property rights under attack": Actors, networks and claims about forest ownership in the Swedish press 2014–2017. *Forest Policy and Economics* 111, 102038. doi:10.1016/j.forpol.2019.102038
- Sterkenburg, E. m fl 2019. The significance of retention trees for survival of ectomycorrhizal fungi in clear-cut Scots pine forests. *Journal of Applied Ecology* 56, 1367-1378. doi:10.1111/1365-2664.13363
- Stokland, J.N. 2001. The coarse woody debris profile: an archive of the recent forest history and an important biodiversity indicator. *Ecological Bulletins* 49, 71-83. <http://www.jstor.org/stable/20113265>.
- Stokland, J.N. 2021. Volume increment and carbon dynamics in boreal forest when extending the rotation length towards biologically old stands. *Forest Ecology and Management* 488, 119017. doi:10.1016/j.foreco.2021.119017
- Tahvonen, O. 2022. Metsien hoito jatkuvapeitteisenä: katsaus taloudelliseen tutkimukseen. *Suomen Luontopaneelin julkaisuja* 1C/2022. doi:10.17011/jyx/SLJ/2022/1c
- Tahvonen, O. och Rämö, J. 2016. Optimality of continuous cover vs. clear-cut regimes in managing forest resources. *Canadian Journal of Forest Research* 46:7, 891-901. doi:10.1139/cjfr-2015-047
- Tanzer, S.E., Blok, K. och Ramírez, A. 2021. Decarbonising Industry via BECCS: Promising sectors, challenges, and techno-economic limits of negative emissions. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports* 8:4, 253-262. doi:10.1007/s40518-021-00195-3

- Ter-Mikaelian, M.T. m fl 2015. The Burning Question: Does Forest Bioenergy Reduce Carbon Emissions? A Review of Common Misconceptions about Forest Carbon Accounting. *Journal of Forestry* 113:1, 57-68. doi:10.5849/jof.14-016
- Thom, D. m fl 2019. The climate sensitivity of carbon, timber, and species richness covaries with forest age in boreal–temperate North America. *Global Change Biology* 25, 2446-2458. doi:10.1111/gcb.14656
- Tuomi, M. m fl 2011. Wood decomposition model for boreal forests. *Ecological modelling* 222, 709-718. doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.10.025
- Vaara, L. 2013. *Metsänhoitajien maa. Tutkimus metsäalan korporatismista*. Poliitiikan ja talouden tutkimuksen laitoksen julkaisuja 5, Yleinen valtio-oppi, Helsingin yliopisto, 453 s.
- Varenius, K. m fl 2016. Long-term effects of tree harvesting on ectomycorrhizal fungal communities in boreal Scots pine forests. *Forest Ecology and Management* 380, 41-49. doi:10.1016/j.foreco.2016.08.006
- Varenius, K. m fl 2017. Retention of seed trees fails to lifeboat ectomycorrhizal fungal diversity in harvested Scots pine forests. *FEMS Microbiology Ecology* 93:9, fix105. doi:10.1093/femsec/fix105
- Venäläinen, A. m fl 2020. Climate change induces multiple risks to boreal forests and forestry in Finland: A literature review. *Global Change Biology* 26, 4178-4196. doi:10.1111/gcb.15183
- Verkerk, P.J. m fl 2020. Climate-smart forestry: the missing link. *Forest Policy and Economics* 115, 102164. doi:10.1016/j.forpol.2020.102164
- Villalobos, L., Coria, J. och Nordén, A. 2018. Has Forest Certification Reduced Forest Degradation in Sweden? *Land Economics* 93:3/94:2, 220-238. doi:10.3368/le.94.2.220
- Vítková, L. m fl 2021. Financial viability of a fully simulated transformation from even-aged to uneven-aged stand structure in forests of different ages. *Forestry* 94:4, 479-491. doi:10.1093/forestry/cpab005.
- VTI 2023. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/vttin-selvitys-mita-jos-metsanomistajat-saisivat-korvauksen-hiilen-sidonnasta> (senast hämtad: 2024-04-05)
- Vuokila, Y. 1984. Harsinnan teoriaa ja käytäntöä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 130, 107 s.
- Wikberg, P.E. m fl 2023. Scenarier för utveckling av upptag och utsläpp av växthusgaser från LULUCF-sektorn – underlag till Miljömålsberedningen. *Arbetsrapport/ Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning* 557, 44 s.
- Winkler, K. m fl 2023. Changes in land use and management led to a decline in Eastern Europe's terrestrial carbon sink. *Communications Earth & Environment* 4, 237. doi:10.1038/s43247-023-00893-4
- Wolfslehner, B. m fl 2020. European forest governance post-2020. *From Science to Policy* 10. European Forest Institute.
- Zhang, X. m fl 2020. Improving Carbon Stock Estimates for In-Use Harvested Wood Products by Linking Production and Consumption – A Global Case Study. *Environmental Science and Technology* 54, 2565-2574. doi:10.1021/acs.est.9b05721

