



# Dragkampen om skogen

– en syntes om skogsbruk i perspektivet av klimat,  
miljö och biologisk mångfald

CEC SYNTES NR 07 | 2021 | LUNDS UNIVERSITET





# Dragkampen om skogen

– en syntes om skogsbruk i perspektivet av klimat,  
miljö och biologisk mångfald

Anna Maria Jönsson (red.)



**LUNDS**  
UNIVERSITET

CEC Syntes Nr 07  
Centrum för miljö- och klimatvetenskap  
Lunds universitet 2021



Denna syntes har finansierats av BECC (Biodiversitet och ekosystemtjänster i ett föränderligt klimat) och CEC och är ett bidrag till det strategiska forskningsområdet BECC.

Dragkampen om skogen – en syntes om skogsbruk i perspektivet av klimat, miljö och biologisk mångfald. Lunds universitet | 2021 |

Denna publikation ingår som nr 7 i serien CEC Synteser.

Nyckelord: skog, ekosystemtjänster, klimatnytta, miljömål.

De två kapitlen citeras som:

Jönsson, A.M. (2021) Dagens vägval leder till framtidens skog. Sid. 7-29 i: Jönsson, A.M. (red.) (2021) Dragkampen om skogen – en syntes om skogsbruk i perspektivet av klimat, miljö och biologisk mångfald. CEC Syntes Nr 7. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.

Akselsson, C. och Ekroos, J. (2021) Synergier och konflikter mellan miljömål i skogen. Sid. 30-55 i: Jönsson, A.M. (red.) (2021) Dragkampen om skogen – en syntes om skogsbruk i perspektivet av klimat, miljö och biologisk mångfald. CEC Syntes Nr 7. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.

Omslagsbilder: iStock

ISBN 978-91-984349-7-2

Beställ från: Centrum för miljö- och klimatvetenskap

Sölvegatan 37 | 223 62 Lund

[www.cec.lu.se/sv/kontakt](http://www.cec.lu.se/sv/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.



Media-Tryck är ett svanenmärkt tryckeri. Läs mer om vårt miljöarbete på [www.mediatryck.lu.se](http://www.mediatryck.lu.se)

MADE IN SWEDEN 

# Innehåll

<i>Förord</i> .....	5
Dagens vägval leder till framtidens skog.....	7
Inledning .....	7
1. Skogsbruk och multifunktionalitet .....	8
1.1 Balans eller dragkamp .....	8
1.2 Historien bakom dagens skog.....	10
1.3 Hållbar utveckling .....	11
2. Klimatet påverkar skogen .....	14
2.1 Ekologiska modeller och skogliga beslutsstöd .....	14
2.2 Arters temperaturberoende utbredning.....	15
2.3 Årstidsberoende processer .....	16
2.4 Klimatpåverkad fysiologisk respons .....	18
3. Klimatanpassning i perspektivet av skogens multifunktionalitet.....	20
4. Slutsatser .....	23
Referenser .....	24



Synergier och konflikter mellan miljömål i skogen .....	30
Inledning .....	30
1. Hållbarhetsmål och miljö kvalitetsmål .....	31
2. Skogsbruksåtgärder med klimatfokus som kan påverka övriga miljömål....	34
3. Påverkan på miljömålet ”Levande skogar” .....	36
3.1 Betydelsen av skyddade områden för biologisk mångfald i skogen	36
3.2 Påverkan av åtgärder i brukad skog .....	38
3.3 Kontinuitetsskogsbruk och biologisk mångfald .....	40
4. Påverkan på miljömålet ”Bara naturlig försurning” .....	42
5. Påverkan på miljömålet ”Ingen övergödning” .....	44
6. Påverkan på miljömålet ”Giftfri miljö” .....	46
7. Slutsatser .....	48
Referenser .....	49

## *Förord*

Det tar lång tid för träd att växa, och den skog i Sverige som kan slutavverkas fram till år 2100 finns till stor del redan. Avvägningen mellan skogens olika värden, det vill säga vilka nyttor från skogen vi vill prioritera, kan påverka på vilket sätt skogen sköts. De bestånd som föryngras i dag kommer att växa och utvecklas under de kommande årtiondena. 2000-talets sätt att tänka kring skogsskötsel, naturvård, klimat och sociala värden kommer att sätta sin prägel på skogsekosystemen, på samma sätt som 1900-talets sätt att sköta skogen för att främja produktion påverkat den skog som finns i dag.

Hur stor andel av skogen som brukas, och på vilket sätt den sköts, påverkar tillgången på råvara, den biologiska mångfalden, klimatet och risken för klimatrelaterade skador, samt möjligheten att nå uppsatta miljömål. Mer kunskap om hur man bäst förvaltar skogen för en fungerande multifunktionalitet behövs för att vi ska kunna leva upp till alla de förväntningar som i dag finns på skogen. Framtiden behöver tas i beaktande vid skoglig planering. Såväl produktion som naturvård och sociala aspekter behöver ingå i beslut som tas om skötsel och förvaltning. Den pågående klimatförändringen gör denna uppgift än mer komplex.

I en nyligen utgiven CEC Syntes om skogens klimatnyttor<sup>1</sup> redgör Markku Rummukainen för skogens roll för kolbalansen, och dess betydelse i samhällets klimatomställning. Klimatnytta kan erhållas både genom att lämna skogen orörd och genom att bruka skogen. Strategier för ökad klimatnytta omfattar att öka skogens kolinbindning och minska nettoutsläppen av växthusgaser, samt att genom produktion av bioenergi och biobaserade produkter ersätta fossil energi och fossilintensiva material. Beräknad klimatnytta påverkas av en rad olika faktorer och antaganden, och tidsaspekten är viktig att beakta vid avvägningar och prioriteringar kring hur skogen ska användas. I den här syntesen, Dragkampen om skogen, tar vi upp den mångfald av värden som tillsammans med klimatnyttan behöver tas hänsyn till. Det första kapitlet beskriver hur den svenska skogen formas av övergripande målsättningar, klimatfaktorer och skötselstrategier. Det andra kapitlet behandlar miljömål och hur skogsskötsel

---

<sup>1</sup> Rummukainen, M. 2021, Skogens klimatnyttor – en balansakt i prioritering (utökad utgåva). CEC Syntes Nr 6. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet. ISBN 978-91-984349-6-5 (En första utgåva publicerades med ISBN 978-91-984349-5-8.)

med syftet att öka skogens klimatnytta påverkar möjligheten att uppnå andra satta miljömål.

Som underlag till syntesen har vetenskapliga artiklar och rapporter med bäring på svenska förhållanden använts. Ett särskilt tack till Fredrik Lagergren, Deniz Koca, Henrik Smith, Hanna Fors, Markku Rummukainen och Anna Maria Erling för kommentarer på tidiga versioner av texten.



# Dagens vägval leder till framtidens skog

Anna Maria Jönsson

Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet

## Inledning

Både klimat och skogsbruk har stor påverkan på arters utbredning, tillväxt och interaktion. Skogens skötsel, som av tradition handlat om virkesproduktion, har under de senaste årtiondena utvecklats till att omfatta många fler aspekter. Nytt är att vi behöver förstå hur skogen kan bidra till att begränsa pågående klimatförändring, både på kort och lång sikt, samtidigt som det behövs kunskap om och anpassning till att pågående klimatförändring påverkar skogsekosystemen. Första delen av det här kapitlet beskriver hur synen på skogsbruket och skogens multifunktionalitet förändrats över tid. I den andra delen av kapitlet beskrivs generella samband mellan klimatfaktorer och skogsekosystemens respons, tillsammans med en översikt av kunskapsbehov för utveckling av modellbaserade verktyg. Träden står i fokus, men genomgången omfattar skogslevande arter i stort. Tredje delen tar upp klimatanpassning av skogens skötsel i perspektivet av skogens multifunktionalitet.

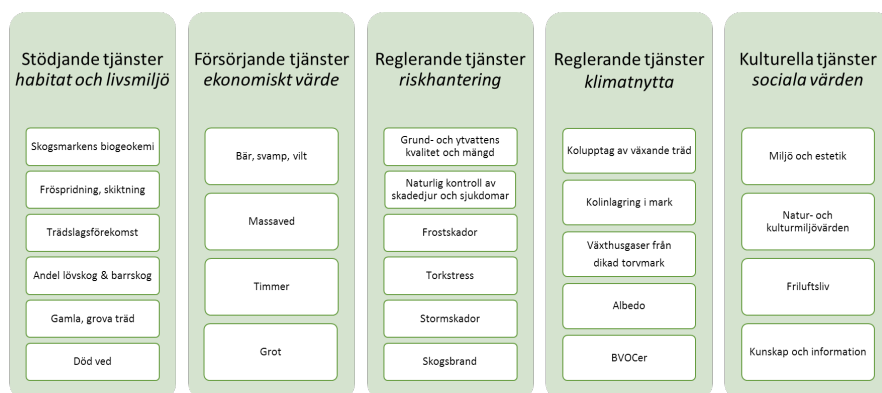
# 1. Skogsbruk och multifunktionalitet

## 1.1 Balans eller dragkamp

Skogen tillhandhåller en rad olika ekosystemtjänster, även kallade naturnyttor, som kan delas in i stödjande, försörjande, reglerande och kulturella (Figur 1). Dessa ligger till grund för skogens multifunktionalitet. Det växande och växlande behovet av försörjande tjänster har varit en avgörande drivkraft när det gäller mänsklig påverkan på skogsekosystemen, med konsekvenser för artsammansättning, struktur och funktion (Potschin och Haines-Young 2011). Intensifiering av skogens skötsel har i många länder lett till minskad överexploatering av skogen och ökad produktion (IPCC 2019). Förändringen av Sveriges skogstillstånd över tid är ett exempel, där industrialismens framväxt ledde till kraftigt ökad skogsavverkning och glesa restbestånd. För att säkra återväxten instiftades en skogsvårdslag i början av 1900-talet, och sedan dess har den stående volymen skog nära nog fördubblats på hundra år (Ekelund och Hamilton 2001). En skött skog har dock lägre biologisk mångfald jämfört med en obrukad skog, då både trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk medför lägre strukturell komplexitet (IPBES 2019). Flertalet arter missgynnas av bristen på gamla träd och död ved (Naturvårdsverket 2020). Samtidigt finns det många orsaker bakom minskad biologisk mångfald, såsom habitatförluster, fragmentering av orörda skogar, igenväxning av tidigare öppna marker och effektiv bekämpning av skogsbränder (Larsson A. 2011). Möjligheten till artbevarande i skogslandskapet är beroende av att det finns en konnektivitet mellan områden avsatta för naturvård (Angelstam m fl 2020, Felton m fl 2019, Naturvårdsverket 2019). Ändringar över tid i skogsvårdslagstiftningen och regelverket för skoglig certifiering har medfört ökad generell naturvårdshänsyn i produktionsskog, men träd växer långsamt och äldre skogsbestånd bär spår av tidigare sätt att bruka. Den multifunktionalitet som en gång gått förlorad kan vara svår att återskapa (Pohjanmies m fl 2021).

En genomgång av nuvarande skogstillstånd och produktion av ekosystemtjänster (Skogsstyrelsen 2017) visade att försörjande tjänster så som

produktion av timmer, massaved och biobränsle har god status. Men fokus på trädens tillväxt, virkeskvalitet och ekonomi har skett på bekostnad av flertalet störningsreglerande tjänster och missgynnat den biologiska mångfalden. Biologisk mångfald utgör i sin tur grunden för de stödjande tjänsterna, och därmed genereringen av alla andra tjänster. Klimatreglering och luftrening är två reglerande tjänster som bedöms ha god status, då båda påverkas av volymen levande träd. Skogen har en positiv klimateffekt genom upptag av koldioxid, men sambanden är komplexa och trädens utsläpp av BVOCer (biogena flyktiga organiska ämnen) och deras effekter på albedo kan påverka strålningsbalansen (Lutz och Howarth 2014, Luysaert m fl 2019). Ur ett klimatperspektiv kan återskapande av våtmark vara ett bättre alternativ än skog på dikad torvmark, då fortgående nedbrytning av torrlagd torv leder till koldioxidutsläpp (Kasimir m fl 2018). Kunskapsläget kring skogens sociala värden är otillräckligt, vilket gör de kulturella tjänsterna svårbedömda.



**Figur 1:** Gruppering av ekosystemtjänster i stödjande, försörjande, reglerande och kulturella tjänster, med exempel på aspekter som kan vara av relevans att beakta vid val av strategi för skogens skötsel. För en mer fullständig sammanställning av skogens ekosystemtjänster, se Skogsstyrelsen, 2017.

Efterfrågan på produkter från skogen förväntas öka i samband med omställningen till ett fossilfritt samhälle (SOU 2020). Samtidigt utgör skogen en begränsad resurs, och förväntan på vad skogen ska kunna leverera i form av olika produkter och nyttor överstiger tillgången (Lundmark 2020), trots att de försörjande tjänsterna bedöms ha god status (Skogsstyrelsen 2017). Jämnåldriga monokulturer har länge ansetts lätta att sköta och ge en bra avkastning, men den strukturella förenklingen leder till oönskade artförluster (Chapin m fl 2007,

Felton m fl 2019). Tillväxthöjande åtgärder, så som att gödsla skogen, använda förädlade plantor och introducera snabbväxande hybrider eller exotiska trädslag för att gynna produktions-skogsbrukets förmåga att generera klimatnytta, kan få ytterligare negativa konsekvenser (Felton m fl 2016a, Felton m fl 2016b). Blandskogar och hyggesfritt skogsbruk har framförts som alternativ till monokulturer, med positiva effekter på stödjande, reglerande och kulturella ekosystemtjänster. Bättre kunskap om hur trädarts- och åldersammansättning kan påverka stormstabilitet (Valinger och Fridman 2011) och förekomst av naturliga fiender till skadegörare (Johansson m fl 2007) skulle kunna påverka hur man väljer att sköta skogen.

## 1.2 Historien bakom dagens skog

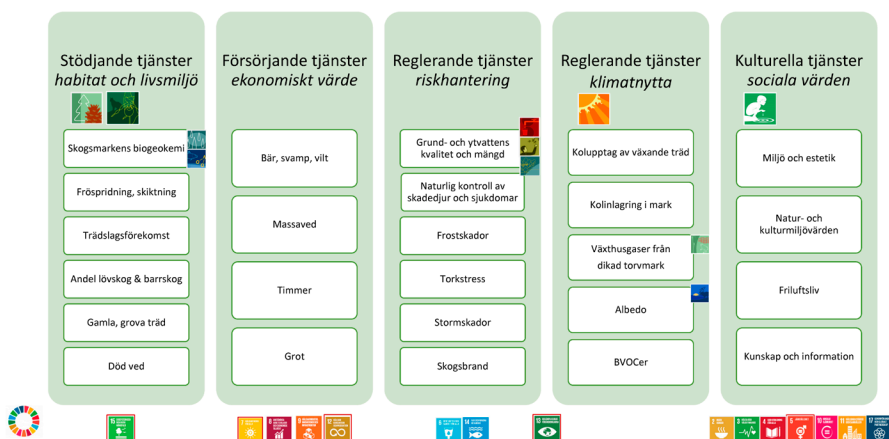
Skogslandskapet har förändrats över tid, till följd av befolkningsökning, tekniska framsteg och politiska beslut. Under lång tid höggs skog ner för att ge plats åt öppna marker för bete, produktion av vinterfoder och odling av grödor. Under 1900-talet effektiviserades både jord- och skogsbruket, och nedlagd jordbruksmark beskogades, vilket sammantaget ledde till en kraftig ökning av Sveriges virkesförråd. Omloppstiden för ett skogsbestånd är vanligen mellan 60 och 120 år, och påverkas av trädslag samt lokala klimat- och markförhållanden. De äldre bestånd som slutavverkas i dag bär därför spår av 1900-talets sätt att tänka kring skogens skötsel. Utvecklingen av policy och normer speglas i hur lydelsen av skogsvårdslagens portalparagraf förändrats över tid (Ekelund och Hamilton 2001). Den ursprungliga lagtexten från 1903 satte fokus på återbeskogning efter avverkning, då industrialiseringen på flera håll i landet lett till kraftig exploatering av skogarna. I revisionen från 1948 lyfts skogsbrukets ekonomi och en jämn avkastning fram, och 1979 omnämns hänsyn till naturvård och andra allmänna intressen. Produktionsmålet och naturvårdsmålet blev formellt jämställda 1993, med tillägget att vid skötsel ska hänsyn tas även till allmänna intressen. På senare tid har skogens klimatnytta och klimatanpassning av skogens skötsel tillkommit som aspekter att beakta. De bestånd som förnygras i dag kommer att växa och utvecklas under lång tid, och 2000-talets sätt att tänka kring naturvård, klimat och skoglig skötsel kommer därför att sätta sin prägel på framtidens skogsekosystem.

Den svenska modellen som utvecklats efter 1993 innebär att det är skogsägarens ansvar att både bedriva ett produktivt skogsbruk och uppfylla miljömål. Utöver

de krav som skogsvårdslagen ställer, kan skogsägare välja att frivilligt certifiera sina skogar, vilket innebär att de förbinder sig att uppfylla ett antal villkor kopplade till hållbart skogsbruk. Vid försäljning av råvara erhåller certifierade skogsägare en ekonomisk kompensation. Rio Forest Principles om uthålligt skogsbruk (UNCED 1992) ligger till grund för två oberoende certifieringssystem, Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC) och Forest Stewardship Council (FSC). Dessa innehåller kriterier och indikatorer för ett ekologiskt, ekonomiskt och sociokulturellt hållbart skogsbruk. Förvaltning och nyttjande av skog och skogsmark ska ske på ett sådant sätt att biologisk mångfald, produktivitet, vitalitet och skogens förmåga att både nu och i framtiden fylla viktiga ekologiska, ekonomiska och sociala funktioner på lokal, nationell och global nivå bevaras, utan att andra ekosystem skadas.

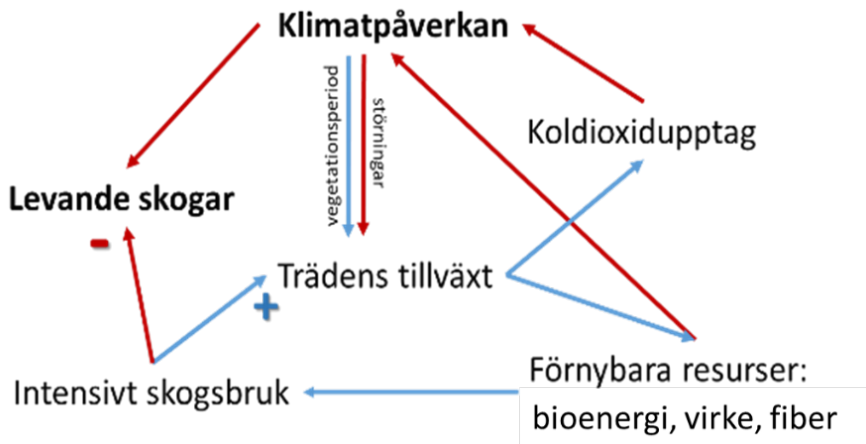
### 1.3 Hållbar utveckling

Hur den svenska skogen brukas påverkar Sveriges möjligheter att nå uppsatta klimat- och miljömål (Figur 2). Det finns ett värde i att olika skogar sköts på olika sätt, då det är kombinationen av skogsbestånd som avgör vilka naturnyttor som produceras på landskapsnivå (IPBES 2019, van der Plas m fl 2016). Riktlinjen för Sveriges nationella skogsprogram är att över tid och geografi sträva efter att balansera alla dimensioner och nyttor (Näringsdepartementet 2018). I fokus står klimatnytta, mångbruk och innovationer, samt hållbart brukande och bevarande, med en god tillgång till skogsråvara genom tillväxt samtidigt som de nationella miljömålen nås. Men det är en utmaning att hantera de komplexa socioekologiska system som skötta skogar utgör (Klapwijk m fl 2018). Ekosystemtjänstbegreppet har bidragit till att synliggöra de stödjande, reglerande och kulturella tjänsterna, och därmed den nytta som en blandning av trädslag och brukningsmetoder kan medföra. Ett problem är dock att det i huvudsak är de försörjande tjänsterna som är väldokumenterade, då skogstillståndet i form av trädslagsfördelning, volym och tillväxt följts under lång tid. Kunskap om status samt ekonomiskt och ekologiskt värde gällande många av skogens andra ekosystemtjänster är bristfällig (Hansen och Malmaeus 2016).



**Figur 2:** Ekosystemtjänster, nationella miljömål och globala mål för hållbar utveckling – alla aspekter behöver beaktas för att hantera multipla målsättningar, framtida osäkerhet och risk när det gäller skogen. Symboler i kolumnerna indikerar ekosystemtjänsternas kopplingar till olika miljömål (för mer information, se kapitel 3). De globala målen indikeras med symboler under tabellkolumnerna. De fem mål där skogsbruket har störst påverkan har försetts med en röd ram (Skogsstyrelsen, 2016).

Skogsbruket berör flertalet av de 17 globala målen, framför allt hållbar konsumtion och produktion (mål 12), arbete för att hållbart bruka skogar och hejda pågående förlust av biologisk mångfald (mål 15), att bekämpa klimatförändringarna och dess konsekvenser (mål 13), hållbar energi för alla (mål 7), samt jämställdhet, då skogssektorn av tradition är mansdominerad (mål 5) (Skogsstyrelsen 2016). Kopplingar mellan klimatutmaningen och övriga globala hållbarhetsmål ställer krav på ny kunskap i form av hur markanvändning och klimatförändring påverkar den biologiska mångfalden och dess bidrag till människors välbefinnande (Filyushkina m fl 2016, Kim m fl 2018). Olika målsättningar gynnas av olika lösningar, samtidigt som olika planeringshorisonter och kunskapsluckor skapar osäkerhet, vilket sammantaget leder till målkonflikter och debatt. Detta gäller inte minst frågan om skogsbrukets förmåga att i ett klimatförändringsperspektiv balansera mellan produktion av biomassa och bevarande av biologisk mångfald (Figur 3). Skogen klimatnytta är en högaktuell fråga, samtidigt som skogens förmåga att påverka den globala uppvärmningen är begränsad (EASAC 2017, Luyssaert m fl 2019).



**Figur 3:** Länkar mellan behovet av förnybara resurser för omställning till ett fossilfritt samhälle, klimatpåverkan som omfattar både skogarnas klimatnytta och klimatförändringens påverkan på skogen, samt klimatets och skogsbrukets påverkan på miljömålet "Levande skogar". Röda pilar indikerar motverkande påverkan och blå pilar förstärkande påverkan.

Olika skogsmarker har olika förutsättningar för biologisk mångfald, kolinlagring i mark och kolinlagring i växande skog, och det behövs riktlinjer för hur man ska prioritera mellan olika mål på olika marker. Det kan till exempel handla om att se över så att klimatanpassningsåtgärder och åtgärder för att öka klimatnyttan inte motverkar varandra. Ett exempel är förlängd omloppstid, som kan vara ett bra alternativ ur ett kolförrådsperspektiv, samtidigt som en kortare omloppstid kan vara att föredra ur ett klimatriskperspektiv då äldre skogsbestånd är mer utsatta för stormskador och granbarkborreangrepp. För maximal multifunktionalitet behöver både art- och skötselval beaktas (Baeten m fl 2019). Avsaknad av incitament för produktion av icke-kommersiella ekosystemtjänster utgör ett hinder för att ställa om skogens skötsel (Strengbom m fl 2018), och policyinstrument kan behövas för att skapa bättre balans mellan produktions- och miljömål (Eggers m fl 2019). I det större samhällsperspektivet tillkommer frågor kring hur omställningen till en hållbar, cirkulär och resurseffektiv bioekonomi ska gå till.

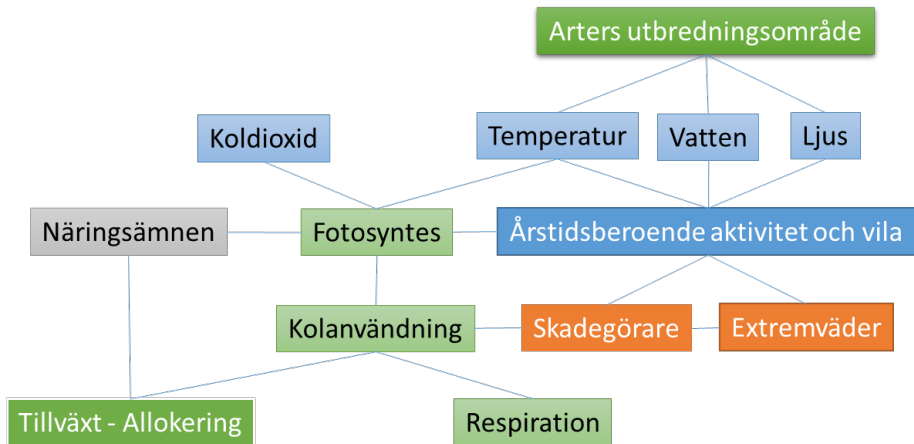


## 2. Klimatet påverkar skogen

### 2.1 Ekologiska modeller och skogliga beslutsstöd

I nordliga skogsekosystem påverkar vintern med kyla och korta dagar de flesta arter, och ger en årstidsberoende växling mellan vintervila under den kalla säsongen respektive tillväxt och reproduktion under den varma säsongen (Figur 4). En temperaturökning påverkar både arters potentiella utbredningsområden och hastigheten på fysiologiska processer, så som trädens fotosyntes och respiration. I ett varmare klimat kan växtsäsongen bli längre, samtidigt som frekvensen av klimatrelaterade störningar påverkas då ett ändrat klimat påverkar risken för frostsador, sommartorka, värmeböljor, översvämningar och stormskador. Detta påverkar i sin tur risken för skogsbränder, insektsangrepp, förlust av biologisk mångfald och etablering av invasiva arter.

Valet av skötsel, inklusive omfattningen av avsättningar för naturvårdsändamål, kommer att interagera med klimatförändringarna när det gäller hur skogens olika värden påverkas. För att kunna förutsäga dessa effekter under olika klimatframtider kan ekologiska modeller och skogliga beslutsstöd användas. Dock saknar de senare ofta dynamisk koppling mellan klimat och trädens tillväxt och överlevnad (Nordström m fl 2019). Generella samband mellan skogens utveckling och klimatfaktorer är väldokumenterade, och kan användas i modeller för att beräkna pågående och framtida förändringsriktning. Samtidigt behöver kunskapsläget fördjupas för att bättre kunna hantera de risker som klimatförändringen medför, då modelleringen är beroende av att det finns tillförlitlig kunskap från inventeringar, experiment och fältförsök om hur temperatur, nederbörd och solstrålning påverkar arters utbredning, fenologi och vitalitet. Potentiella användningsområden utöver forskningsändamål omfattar underlag för planering inom enskilda fastigheter och att stärka samverkan mellan aktörer på landskapsnivå (Marto m fl 2018).



**Figur 4:** Pågående klimatförändring påverkar arters temperaturberoende utbredning, årstidsberoende processer, trädens tillväxt och risken för skador orsakade av extremväder och skadegörare. Kunskap om klimatpåverkan kan ligga till grund för klimatanpassad skogsskötsel. Ekosystemkomponenterna är färgkodade, grönt indikerar vegetation, grått markförhållanden, blått klimatfaktorer, och orange skadefaktorer.

## 2.2 Arters temperaturberoende utbredning

Ett varmare klimat är för de flesta arter förknippat med en förskjutning av utbredningen mot norr och högre höjd, och pågående klimatförändring har redan satt sina spår även om det finns fördröjningseffekter mellan ökad temperatur och förändrad utbredning. För fjällbjörk, gran och tall (*Betula pubescens ssp. czerepanovii*, *Picea abies* och *Pinus sylvestris*) har trädgränsen i fjällen flyttats uppemot 200 meter under det senaste århundradet, vilket är i linje med den uppmätta temperaturökningen. Den genomsnittliga förändringen ligger dock på 70-90 meter (Kullman och Öberg 2009). Fältstudier har visat att störningsfaktorer så som vindexponering (Kullman och Öberg 2009), vårbakslag med frostsador under knoppsprickning (Kollas m fl, 2014), samt herbivori i form av renbete och insektsutbrott (Van Bogaert m fl 2011) begränsar trädgränsens temperaturberoende förflyttning. Samtidigt har enstaka trädplantor etablerat sig 400-700 meter ovanför nuvarande trädgräns, vilket visar att förändringen är pågående (Kullman 2004). Även insekter, fåglar och icke-vedartade växter uppvisar temperaturberoende förekomst i landskapet (Hof och Svahlin 2016b, Lindström m fl 2013, Tyler m fl 2018).

För modelleringsstudier behövs bakgrundskunskap av tillräckligt god kvalitet för att förstå hur artspecifik förekomst påverkas av klimatologiska faktorer, spridningsmekanismer och interaktioner mellan arter (Heikkinen m fl 2006). Enkla bioklimatologiska index, som bygger på statistiska samband mellan storskaliga klimatfaktorer och arters utbredning, används för att skatta hur klimatet påverkar utbredning av växter och insekter. Dessa har ofta en hög förklaringsgrad, men framtidsprojektioner blir osäkra då de utgår från att den potentiella utbredningen enbart är klimatstyrd (Heikkinen m fl 2006, Ulrichs och Hopper 2008). Den verkliga, realiserade utbredningen kan påverkas av flera andra faktorer, och för arter med stor skillnad mellan kärnförekomst och totalt utbredningsområde kan det vara extra svårt att göra en samlad bedömning av klimatpåverkan (Björklund m fl 2016, Hof och Svahlin 2016a). Till exempel fann man i en stor studie av europeiska trädslag att skattningar av årlig temperatursumma, årsnederbörd och strålning baserad på klimatmodelldata endast förklarade nio procent av variationen i simulerad närvaro/frånvaro (Nenzen och Araujo 2011). För att förstå hur klimatet påverkar en art räcker det alltså inte att jämföra utbredning med års- eller månadsmedeltemperatur, utan det behövs fördjupad kunskap om hur viktiga utvecklingsstadier, vinteröverlevnad och tidpunkt för reproduktion påverkas (Klapwijk m fl 2013, Robinet och Roques 2010). Modelleringen bör därför om möjligt sträva efter att beskriva hur väder och klimat påverkar olika arter under olika utvecklingsstadier (Reyer m fl 2013). Till exempel kan temperaturextremer under knoppsprickning förväntas ge en betydligt bättre bild av potentiella utbredningsförändringar än lägsta temperatur under vintern och medeltemperatur under sommaren (Kollas m fl 2014).

## 2.3 Årstidsberoende processer

Signaler från ljus (dagslängd) och temperatur är viktiga för både växter och insekter (Chuine och Regniere 2017). Under våren indikerar stigande temperatur att en varmare årstid är på väg, och temperatur är enskilt den faktor som har störst påverkan på fenologisk utveckling. Under sommaren ger dock temperaturen ingen förvarning om att hösten är i antågande, med kallare temperaturer och risk för frost. Därför använder sig många arter av biologiska klockor som reagerar på nattens och dagens längd (Chuine och Regniere 2017). Nordliga arter har under lång tid utsatts för naturlig selektion, genom att

individer med en årstidsrytm som inte varit anpassad till att undvika ogynnsamma förhållanden haft sämre överlevnad och förökningsframgång. Observationer som gjorts i försöksparker, fenologiska nätverk och av allmänhet har bidragit till att kartlägga naturens årsrytm. För flertalet trädarter handlar knoppsprickning och invintring om en balansgång mellan att undvika frostska och att maximera längden på växtsäsongen (Hänninen 2016). Sydliga provenienser behöver ofta en högre temperatursumma för knoppsprickning och är mer påverkade av dagslängden under våren än nordliga provenienser, en anpassning till högre risk för vårbakslag med efterföljande frostska (Langvall och Löfvenius 2019). Detta är av stor praktisk betydelse för valet av proveniens vid plantering av gran (Hannerz m fl 1999). Tidigare knoppsprickning till följd av ett varmare klimat kan komma att begränsas av brist på vintervila eller kort dagslängd, och europeiska tidsserier för knoppsprickning av lövträd indikerar att trenden mot tidigare vår har mattats av (Fu m fl 2015).

För träd har flera olika knoppsprickningsmodeller utvecklats. I enkla processbaserade modeller ingår enbart temperaturens pådrivande effekt, medan mer avancerade modeller även beräknar effekten av kalla temperaturer och/eller dagslängd. Enkla modeller ger ofta bra resultat vid kalibrering och utvärdering mot observationer (Olsson m fl 2013), men modeller som inkluderar kända effekter av vintervila och dagslängd ger andra resultat vid beräkningar av klimatförändringseffekter på skogens växtsäsong och koluttag. Modellering av granens knoppsprickning i Sverige med en klimatutveckling motsvarande RCP8,5 (ökande utsläpp av växthusgaser under 2000-talet) gav en medelförändring på tio dagar tidigare mot slutet av århundradet jämfört med nu, och en spridning mellan sju modeller på 20 dagar (Olsson m fl 2017). Eftersom dagslängd och temperatur samvarierar över året är det svårt att utifrån fältdata kvantifiera olika påverkansfaktorer, och därmed avgöra vilken modell som är lämpligast att använda. Pågående kartläggning av hur dagslängd och temperatur reglerar trädens fenologi på molekylär nivå kan generera ny kunskap för fortsatt modellutveckling (Singh m fl 2017).

För ett fåtal ekonomiskt betydelsefulla skadeinsekter, så som granbarkborren (*Ips typographus*) (Jönsson m fl 2012), finns detaljerad information om hur väder och klimat påverkar fenologi och populationsdynamik, inklusive interaktionen med värdräd. Men för de flesta andra arter, både vanliga och sällsynta, saknas tillräcklig kunskap för att utveckla processbaserade modellbeskrivningar. För att bedöma ekosystemkonsekvenser behöver även följd effekter analyseras, till exempel om tidpunkt för trädens lövsprickning påverkar undervegetationen i

skog (Heberling m fl 2019) samt bladätande insekter (Jepsen m fl 2011), och därmed även tillgången på föda för andra arter.

## 2.4 Klimatpåverkad fysiologisk respons

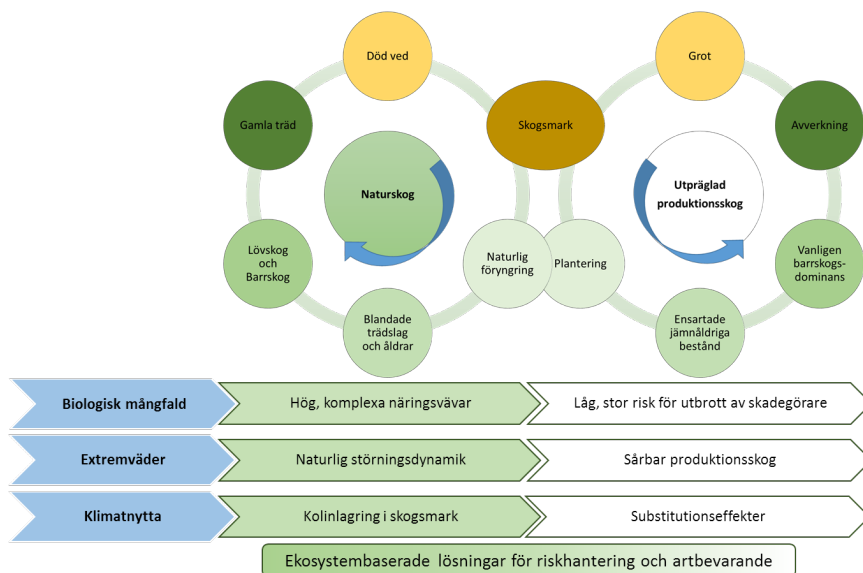
Trädens reglering av fotosyntes, respiration och transpiration påverkas av temperatur, nederbörd och solinstrålning, i kombination med omgivande koldioxidhalt och näringsstillgång. Hastigheten på de fysiologiska processerna begränsas vid varje tidpunkt av en, eller ett fåtal, faktorer. Vilken faktor som är mest begränsande kan variera över tid (Liebig's minimilag). Den huvudsakliga begränsningen av nettoprimärproduktionen i boreala och nemorala skogar utgörs av vinterkyla och mörker (Nemani m fl 2003), men sommartid kan brist på vatten och näring vara begränsande (Ryan 2013). Temperatur och nederbörd påverkar vittring och nedbrytning, och därmed näringsomsättning och kolinlagring. Ökad temperatur och koldioxidhalt i atmosfären kan påverkas av återkopplings effekter, till exempel kan trädens rot-skott-kvot ändras till följd av begränsad tillgång på vatten eller kväve, med ökad allokering av resurser till rottillväxt för att kompensera begränsningen.

Pågående klimatförändring leder i Sverige generellt till ökande nederbörd, med störst ökning vintertid. Dock uppvisar trädens kolupptag ett starkare samband med sommarnederbörden, och den temperaturpåverkade risken för sommartorka, än den årliga nederbörden (Belyazid och Zanchi 2019). På landskapsnivå påverkas den hydrologiska effekten både av artsammansättning och skogsskötsel, där utvecklingen under de senaste 60 åren mot ökad nederbörd och tätare bestånd kan ha lett till ökad transpiration trots koldioxidinducerad vattenbesparing hos individuella träd (Hasper m fl 2016, Jaramillo m fl 2018). Ett varmare klimat leder till längre växtsäsong, men den potentiella tillväxtökningen kan motverkas av högre frekvens av sommartorka och högre autotrofisk respiration vintertid (Jönsson och Lagergren 2018). Detta kan leda till perioder med låga nivåer av icke-strukturella kolhydrater, vilket kan få en negativ effekt på trädens försvar mot sekundära skadegörare såsom barkborrar. Två viktiga frågor är därför i vilken utsträckning pågående klimatförändring påverkar potentiellt begränsande tillväxtfaktorer, och i vilken utsträckning träden anpassar sig genom aklimatisering. En ökning av koldioxidhalten kan över tid leda till sänkt kol-kväve-kvot i barren, vilket i sin tur påverkar den ljusmättade fotosynteshastigheten (Lamba m fl 2018). Ökad

koldioxidhalt kan även leda till mer stängda klyvöppningar, med minskad transpiration som följd, vilket kan motverka den transpirationsökning som högre temperaturer medför (Ainsworth och Rogers 2007). Unga träd tenderar att påverkas i högre grad än äldre träd. Effekten är också större för lövfällande träd än barrträd, och mer uttalad för vattenbegränsade än näringsstressade träd. Följdriktigt uppvisade kvävebegränsade, lite äldre granar ingen vattenbesparande effekt i ett försök vid Flakaliden (Hasper m fl 2016). Dock saknas kunskap för att fullt ut kvantifiera dessa effekter, och få modeller inkluderar acklimatiseringseffekter trots potentiell påverkan på tillväxt- och kolbalansberäkningar (Smith och Dukes 2013).

### 3. Klimatanpassning i perspektivet av skogens multifunktionalitet

Den pågående klimatförändringen påverkar arters utbredning, fenologi och tillväxt, och information om sådana effekter kan användas för att beräkna framtida kolbalans och virkesproduktion, samt för att skapa förutsättningar för bevarande av biologisk mångfald och kvantifiering av reglerande ekosystemtjänster. Många skogliga beslut kantas av avvägningar. Skogen kan generera klimatnytta både genom att lämnas orörd och genom att brukas, med olika konsekvenser för ekonomi, andra skogslevande arter och risk för skador orsakade av storm, brand och insektsangrepp (Figur 5).



**Figur 5:** Den över delen av figuren visar på de strukturella skillnaderna mellan en naturskog och en utpräglad produktionsskog. Nedre delen av figuren visar hur detta påverkar skogarnas biologiska mångfald, känslighet för extremväder, och klimatnytta. Pilarna indikerar utvecklingen från naturskog till produktionsskog som skett under de senaste århundrandena. Ekosystembaserade lösningar för riskhantering och artbevarande kan vända utvecklingen och skapa ett mer hållbart skogsbruk med hänsyn tagen till skogens alla värden och nyttor.



För att minska risken för skador på skog orsakade av klimat- och väderhändelser behöver skogsbruket klimatanpassas. Detta kräver andra och kompletterande åtgärder jämfört med åtgärder för att gynna skogens möjlighet att generera klimatnytta (Lagergren och Jönsson 2017). Anpassningen kan utgå från ett rent produktionsperspektiv, med fokus på tidpunkt för gallring och slutavverkning, eller utformas genom trädslagsval och utveckling av blandskog och flerskiktad skog så att klimatrisker minskar och biologisk mångfald gynnas. Kortare omloppstid kan minska risken för stormskador, barkborrar och angrepp av rötsvampar, men detta har generellt en negativ effekt på försörjande, reglerande och kulturella ekosystemtjänster (Roberge m fl 2016). Till exempel har slutavverkning med markberedning en negativ påverkan på symbiotiska mykorrhizasvampar (Varenius m fl 2016). Alternativt kan risken för klimatrelaterade skador minskas och biologisk mångfald gynnas genom ökad andel lövträd, trädslagblandning och hyggesfritt skogsbruk. Detta då monokulturer är känsliga för angrepp av skadeinsekter (Klapwijk m fl 2016) och rötsvampar (Oliva och Stenlid 2011). Ålders- och trädslagblandning kan gynna en top-down-reglering av skadeinsekter, då en ökning av ekosystemkomplexiteten minskar koncentrationen av trädindivider känsliga för samma skadegörare och ökar förekomsten av naturliga fiender (Klapwijk och Björkman 2018).

Klimatförändringens påverkan på trädens tillväxt, skogsekosystemets näringsomsättning och frekvens av störningar bör analyseras samtidigt, och inte var för sig, då sambanden är komplexa och föränderliga över tid. Känsligheten för en viss sorts störning är ofta som störst under en viss fas av ett skogsbestånds utveckling, och klimatinducerad tillväxtökning kan gå förlorad vid skogsbrand, stormskador och insektsutbrott (Reyer m fl 2017). Till exempel är nyplanterade granbestånd känsliga för angrepp av snytbagge, men risken för skada påverkas av lokalspecifik temperatursumma i kombination med om plantan står i mineraljord (markberedningsfläck) eller är omgiven av förna, hur lång tid det gått sedan slutavverkning och om plantskydd används (Nordlander m fl 2017). En nyplanterad granskog är samtidigt betydligt mer känslig för frostsador än äldre skog, och ett varmare klimat kan medföra tidigare knoppsprickning och därmed en ökad risk för frostsador orsakade av vårbakslag. Risken är störst i södra Sverige och lägst i norr, då våren generellt kommer senare och med snabbare temperaturprogression längre norrut (Jönsson m fl 2004). När skogen blir äldre ökar risken för stormskador. Klimatförändringen kan påverka risken genom att ökad nederbörd vintertid i kombination med otjälad mark ger trädens

rötter en sämre förankring än en frusen, snötäckt mark. Känsligheten för stormskador påverkas av trädslag och brukningsmetod. En jämnåldrig monokultur av gran som planterats tätt och gallrats för att gynna god virkeskvalitet blir stormkänslig, då gallring försämrar de kvarvarande trädens förankringsförmåga genom att den stabiliserande rotkontakten mellan närstående träd tunnas ut. Stormskador ökar i sin tur risken för efterföljande angrepp av granbarkborre. Ett varmare klimat kan i Sverige medföra en ökad förekomst av två fullt utvecklade generationer granbarkborrar per år, men populationsstorleken och därmed risken för angrepp på levande träd bestäms av tillgången på yngelmaterial i form av nyligen stormfällda och torkstressade granar (Jönsson m fl 2012). Skadeutvecklingen påverkas därför av hur snabbt och i vilken omfattning vindfällna och angripna träd kan tas om hand och forslas ut ur skogen.

Anpassningsåtgärder för att minska risken för skador på produktionsskog är en sak. Att i ett klimatförändringsperspektiv bevara skogens biologiska mångfald kräver andra former av åtgärder. För flertalet skogslevande arter är klimatkänsligheten okänd och även om det hitintills varit markanvändning som utgjort det största hotet, kan ett förändrat klimat leda till ökad sårbarhet (Mair m fl 2018) och i värsta fall komma att utgöra ett substantiellt hot för bevarandet av arter och biologisk mångfald (Araujo m fl 2011). Pågående klimatförändring ökar därför behovet av spridningskorridorer och områden avsatta för naturvård (Mair m fl 2017). En portfölj av olika anpassningsstrategier kan behövas för att med hjälp av riskspridning möta en osäker framtid, då det till stor del saknas kunskap om i vilken utsträckning olika arter är motståndskraftiga mot och har möjlighet att återhämta sig efter störningar orsakade av klimat och väderleksextremer (Park m fl 2014).

## 4. Slutsatser

Traditionellt har virkesproduktion stått i fokus vid skogliga beslut. Global klimatförändring och förlust av biologisk mångfald, i kombination med långa omloppstider, gör att vi nu behöver se över och hantera olika scenarier för skogsekosystemens utveckling och förmåga att generera olika ekosystemtjänster. I och med att fler aspekter ska beaktas så ökar komplexiteten. För en hållbar framtid behövs välgrundat underlag som visar på de ekologiska, ekonomiska och sociala effekterna av olika beslutsalternativ kring hur skogsmarken kan brukas.

Ekosystemanalys behövs för att belysa arters klimatkänslighet och vilka åtgärder som är effektiva för att minska risker och bevara biologisk mångfald i perspektivet av pågående markanvändning och klimatförändring. Skogsvårdsåtgärder så som markberedning, plantering, röjning och gallring behöver planeras och utföras i samklang med naturvårdande åtgärder, så som att lämna naturhänsyn och avsätta skogsområden till fri utveckling.

Samhällets utveckling påverkar skogens utveckling, och insikt om detta behövs för att förstå vilka drivkrafter som formar skogsbruket och vilka följd effekter detta kan få för möjligheten att uppnå miljömål och balans mellan ekosystemtjänster. För att hantera dragkampen om skogen och skapa balans mellan olika mål behövs välutvecklade planeringsunderlag för skogsbruket. Samtidigt behöver omställningen till ett fossilfritt samhälle ske i samklang med en utveckling av cirkulär bioekonomi, för att både begränsa klimatförändringen och balansera efterfrågan på ny råvara från skogen, och därigenom hantera två av de faktorer som har störst påverkan på skogsekosystemen.

# Referenser

- Ainsworth, E.A. och Rogers, A. 2007, The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising CO<sub>2</sub> : mechanisms and environmental interactions. *Plant Cell and Environment* 30, 258-270.
- Angelstam, P. m fl 2020, Sweden does not meet agreed national and international forest biodiversity targets: A call for adaptive landscape planning. *Landscape and Urban Planning* 202, 103838
- Araujo, M.B. m fl 2011, Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters* 14, 484-492.
- Baeten, L. m fl 2019, Identifying the tree species compositions that maximize ecosystem functioning in European forests. *Journal of Applied Ecology* 56, 733-744.
- Belyazid, S. och Zanchi, G. 2019, Water limitation can negate the effect of higher temperatures on forest carbon sequestration. *European Journal of Forest Research* 138, 287-297.
- Björklund, N. m fl 2016, Erroneous conclusions about current geographical distribution and future expansion of forest insects in Northern Sweden: comments on Hof and Svahlin (2015). *Scandinavian Journal of Forest Research* 31, 126-127.
- Chapin, F.S. m fl 2007, Managing climate change impacts to enhance the resilience and sustainability of Fennoscandian forests. *Ambio* 36, 528-533.
- Chaine, I. och Regniere, J. 2017, Process-Based Models of Phenology for Plants and Animals. In: D.J. Futuyma (Editor), *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 48, 159-182.
- EASAC 2017, Multi-functionality and sustainability in the European Union's forests. EASAC policy report 32, 51 pp.
- 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.
- Ekelund, H. och Hamilton, G. 2001, Skogspolitisk historia. Skogsstyrelsen rapport 8A.

- Felton, A. m fl 2016a, How climate change adaptation and mitigation strategies can threaten or enhance the biodiversity of production forests: Insights from Sweden. *Biological Conservation* 194, 11-20.
- Felton, A. m fl 2019, Keeping pace with forestry: Multi-scale conservation in a changing production forest matrix. *Ambio* 49, 1050-1064.
- Felton, A. m fl 2016b, Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. *Ambio* 45, S124-S139.
- Filyushkina, A. m fl 2016, Non-market forest ecosystem services and decision support in Nordic countries. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31, 99-110.
- Fu, Y.H. m fl 2015, Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding. *Nature* 526, 104-107.
- Hannerz, M. m fl 1999, Genetic correlations between growth and growth rhythm observed in a short-term test and performance in long-term field trials of Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 768-778.
- Hänninen, H. 2016, *Boreal and Temperate Trees in a Changing Climate, Modelling the Ecophysiology of Seasonality*, Biometeorolog. Springer 342 pp.
- Hansen, K. och Malmaeus, M. 2016, Ecosystem services in Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31, 626-640.
- Hasper, T.B. m fl 2016, Water use by Swedish boreal forests in a changing climate. *Functional Ecology* 30, 690-699.
- Heberling, J.M. m fl 2019, Phenological mismatch with trees reduces wildflower carbon budgets. *Ecology Letters* 22, 616-623.
- Heikkinen, R.K. m fl 2006, Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography* 30, 751-777.
- Hof, A.R. och Svahlin, A. 2016a, Not erroneous but cautious conclusions about the potential effect of climate change on the geographical distribution of insect pest species in the Swedish boreal forest. Response to Bjorklund m fl (2015). *Scandinavian Journal of Forest Research* 31, 128-129.
- Hof, A.R. och Svahlin, A. 2016b, The potential effect of climate change on the geographical distribution of insect pest species in the Swedish boreal forest. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31, 29-39.
- IPBES 2019, Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (red). IPBES secretariat, Bonn, Germany.
- IPCC 2019, Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable*

land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

- Jaramillo, F. m fl 2018, Dominant effect of increasing forest biomass on evapotranspiration: interpretations of movement in Budyko space. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, 567-580.
- Jepsen, J.U. m fl 2011, Rapid northwards expansion of a forest insect pest attributed to spring phenology matching with sub-Arctic birch. *Global Change Biology* 17, 2071-2083.
- Johansson, T. m fl 2007, The effects of substrate manipulations and forest management on predators of saproxylic beetles. *Forest Ecology and Management* 242, 518-529.
- Jönsson, A.M. och Lagergren, F. 2018, Effects of climate and soil conditions on the productivity and defence capacity of *Picea abies* in Sweden-An ecosystem model assessment. *Ecological Modelling* 384, 154-167.
- Jönsson, A.M. m fl 2004, Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in *Picea abies*. *Global and Planetary Change* 44, 195-207.
- Jönsson, A.M. m fl 2012, Guess the impact of *Ips typographus*-An ecosystem modelling approach for simulating spruce bark beetle outbreaks. *Agricultural and Forest Meteorology* 166, 188-200.
- Kasimir, A. m fl 2018, Land use of drained peatlands: Greenhouse gas fluxes, plant production, and economics. *Global Change Biology* 24, 3302-3316.
- Kim, H. m fl 2018, A protocol for an intercomparison of biodiversity and ecosystem services models using harmonized land-use and climate scenarios. *Geoscientific Model Development* 11, 4537-4562.
- Klapwijk, M.J. och Björkman, C. 2018, Mixed forests to mitigate risk of insect outbreaks. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33, 772-780.
- Klapwijk, M.J. m fl 2018, Capturing complexity: Forests, decision-making and climate change mitigation action. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 52, 238-247.
- Klapwijk, M.J. m fl 2016, Forest management and natural biocontrol of insect pests. *Forestry* 89, 253-262.
- Klapwijk, M.J. m fl 2013, Forest insects and climate change: long-term trends in herbivore damage. *Ecology and Evolution* 3, 4183-4196.
- Kollas, C. m fl 2014, Spring frost and growing season length co- control the cold range limits of broad- leaved trees. *Journal of Biogeography* 41, 773-783.
- Kullman, L. 2004, Long-term geobotanical observations of climate change impacts in the Scandes of West-Central Sweden. *Nordic Journal of Botany* 24, 445-467.

- Kullman, L. och Öberg, L. 2009, Post-Little Ice Age tree line rise and climate warming in the Swedish Scandes: a landscape ecological perspective. *Journal of Ecology* 97, 415-429.
- Lagergren, F. och Jönsson, A.M. 2017, Ecosystem model analysis of multi-use forestry in a changing climate. *Ecosystem Services* 26, 209-224.
- Lamba, S. m fl 2018, Physiological acclimation dampens initial effects of elevated temperature and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in mature boreal Norway spruce. *Plant Cell and Environment* 41, 300-313.
- Langvall, O. och Löfvenius, M.O. 2019, Long-term standardized forest phenology in Sweden: a climate change indicator. *International Journal of Biometeorology* 65, 381-391
- Larsson A., B.U. m fl 2011, Tillståndet i skogen - rödlistade arter i ett nordiskt perspektiv. *ArtDatabanken Rapporterar* 9.
- Lindström, Å. m fl 2013, Rapid changes in bird community composition at multiple temporal and spatial scales in response to recent climate change. *Ecography* 36, 313-322.
- Lundmark, T. 2020, Skogen räcker inte - hur ska vi prioritera? *Future Forests Rapportserie* 2020:4.
- Lutz, D.A. och Howarth, R.B. 2014, Valuing albedo as an ecosystem service: implications for forest management. *Climatic Change* 124, 53-63.
- Luyssaert, S. m fl 2019, Trade-offs in using European forests to meet climate objectives. *Nature* 567, 259-262.
- Mair, L. m fl 2017, Forest management could counteract distribution retractions forced by climate change. *Ecological Applications* 27, 1485-1497.
- Mair, L. m fl 2018, Land use changes could modify future negative effects of climate change on old-growth forest indicator species. *Diversity and Distributions* 24, 1416-1425.
- Marto, M. m fl 2018, Combining Decision Support Approaches for Optimizing the Selection of Bundles of Ecosystem Services. *Forests* 9:7, 438.
- Näringsdepartementet 2018, Strategi för Sveriges nationella skogsprogram. Artikelnummer N2018:15 Bilaga till protokoll IV 5 vid regeringssammanträde den 17 maj 2018, N2018/03142/SK
- Naturvårdsverket 2019, Landskapsplanering av skog för biologisk mångfald och ett varierat skogsbruk. *Naturvårdsverkets rapport* 6909.
- Naturvårdsverket 2020, Miljömålen Årlig uppföljning av Sveriges nationella miljömål 2020 – Med fokus på statliga insatser, *Naturvårdsverket Rapport* 6919.
- Nemani, R.R. m fl 2003, Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science* 300, 1560-1563.



- Nenzen, H.K. och Araujo, M.B. 2011, Choice of threshold alters projections of species range shifts under climate change. *Ecological Modelling* 222, 3346-3354.
- Nordlander, G. m fl 2017, Influence of climate and forest management on damage risk by the pine weevil *Hylobius abietis* in northern Sweden. *Silva Fennica* 51:5, 7751.
- Nordström, E.M. m fl 2019, Forest decision support systems for the analysis of ecosystem services provisioning at the landscape scale under global climate and market change scenarios. *European Journal of Forest Research* 138, 561-581.
- Oliva, J. och Stenlid, J. 2011, Validation of the Rotstand model for simulating *Heterobasidion annosum* root rot in *Picea abies* stands. *Forest Ecology and Management* 261, 1841-1851.
- Olsson, C. m fl 2013, Performance of tree phenology models along a bioclimatic gradient in Sweden. *Ecological Modelling* 266, 103-117.
- Olsson, C. m fl 2017, Trends and uncertainties in budburst projections of Norway spruce in Northern Europe. *Ecology and Evolution* 7, 9954-9969.
- Park, A. m fl 2014, Can Boreal and Temperate Forest Management be Adapted to the Uncertainties of 21st Century Climate Change? *Critical Reviews in Plant Sciences* 33, 251-285.
- Pohjanmies, T., m fl 2021, Forest multifunctionality is not resilient to intensive forestry. *European Journal of Forest Research* 140, 537-549,
- Potschin, M.B. och Haines-Young, R.H. 2011, Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. *Progress in Physical Geography-Earth and Environment* 35, 575-594.
- Reyer, C.P.O. m fl 2017, Are forest disturbances amplifying or canceling out climate change-induced productivity changes in European forests? *Environmental Research Letters* 12:3, 034027.
- Reyer, C.P.O. m fl 2013, A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. *Global Change Biology* 19, 75-89.
- Roberge, J.M. m fl 2016, Socio-ecological implications of modifying rotation lengths in forestry. *Ambio* 45, S109-S123.
- Robinet, C. och Roques, A. 2010, Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology* 5, 132-142.
- Ryan, M.G. 2013, Three decades of research at Flakaliden advancing whole-tree physiology, forest ecosystem and global change research. *Tree Physiology* 33, 1123-1131.
- Singh, R.K. m fl 2017, Photoperiod- and temperature-mediated control of phenology in trees - a molecular perspective. *New Phytologist* 213, 511-524.

- Skogsstyrelsen 2016, Agenda 2030 – underlag för genomförande, Ett regeringsuppdrag, Skogsstyrelsen Meddelande 2016:8.
- Skogsstyrelsen 2017, Skogens ekosystemtjänster – status och påverkan, Skogsstyrelsen Rapport 2017/13.
- Smith, N.G. och Dukes, J.S. 2013, Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* 19, 45-63.
- SOU 2020, Stärkt äganderätt, flexibla skyddsformer och naturvård i skogen. SOU 2020:73.
- Strengbom, J. m fl 2018, Trade-offs in the multi-use potential of managed boreal forests. *Journal of Applied Ecology* 55, 958-966.
- Tyler, T. m fl 2018, Climate warming and land-use changes drive broad-scale floristic changes in Southern Sweden. *Global Change Biology* 24, 2607-2621.
- Ulrichs, C. och Hopper, K.R. 2008,. Predicting insect distributions from climate and habitat data. *Biocontrol* 53, 881-894.
- UNCED 1992, Non-legally binding authoritative statement of principles for a global consensus on the management, conservation and sustainable development of all types of forests.
- Valinger, E. och Fridman, J. 2011, Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 262, 398-403.
- Van Bogaert, R. m fl 2011, A century of tree line changes in sub-Arctic Sweden shows local and regional variability and only a minor influence of 20th century climate warming. *Journal of Biogeography* 38, 907-921.
- van der Plas, F. m fl 2016, Jack-of-all-trades effects drive biodiversity-ecosystem multifunctionality relationships in European forests. *Nature Communications* 7, 11109.
- Varenus, 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.

# Synergier och konflikter mellan miljömål i skogen

*Cecilia Akselsson*

Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet

*Johan Ekroos*

Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet

## Inledning

Debatten om hur skogsbruket ska bedrivas fokuserar ofta på klimatnytta, och därmed på kolinlagring och produktion av virke och förnybar energi (Rummukainen 2021), men skogen står även för många andra värden och bidrar med en rad ekosystemtjänster (Hansen och Malmaeus 2016). Hur skogsbruket bedrivs påverkar också möjligheten att uppnå flera miljömål. De strategier som diskuteras för att begränsa klimatförändringen kan påverka även dessa värden och mål, positivt eller negativt (Regeringskansliet 2017, de Jong m fl 2017). Det är därför viktigt att även dessa effekter tas med i underlaget för de avvägningar som görs vid val av skogliga strategier och åtgärder. För avvägning mellan olika värden kan olika ramverk med målformuleringar användas: de globala hållbarhetsmålen som Sverige och alla andra FN-länder har åtagit sig att implementera, samt de nationella miljökvalitetsmålen i Sverige.

# 1. Hållbarhetsmål och miljökvalitetsmål

År 2015 antogs 17 globala hållbarhetsmål av FN:s generalförsamling, som en del av Agenda 2030. Dessa mål tar ett brett grepp ur ett globalt perspektiv på ekonomiska, ekologiska och sociala värden. Skog och skogsbruk är relevant för flera av målen. Skogens produktion av virke finns representerad i målet ”Hållbar konsumtion och produktion”. Målet ”Ekosystem och biologisk mångfald” är centralt med avseende på miljön i skogen, då det innefattar både biologisk mångfald och andra miljöaspekter. Två av målen är relevanta för skogens klimatnytta, ”Begränsa klimatförändringarna” och ”Hållbar energi för alla”, då de tillsammans täcker in både kolinlagring och produktion av biobränsle. ”Rent vatten och sanitet” samt ”Hav och marina resurser” har kopplingar till skogen genom den påverkan skog och skogsbruk har på grundvatten, sjöar, vattendrag och hav. De sociala aspekterna av skogen ingår i målet ”God hälsa och välbefinnande”. De globala hållbarhetsmålen följs upp med hjälp av indikatorer, men eftersom hållbarhetsmålen är förhållandevis nya är indikatorerna inte färdigutvecklade och utvecklingsarbete pågår på global nivå samt på nationell, regional och lokal nivå, bland annat i Sverige (UN 2020, RKA 2019).

De nationella miljökvalitetsmålen instiftades 1999, och utökades från 15 till 16 mål år 2005 ([www.sverigesmiljomal.se](http://www.sverigesmiljomal.se)). För flera av dem kan måluppfyllelsen påverkas negativt av konventionellt skogsbruk, samtidigt som ett hållbart skogsbruk skulle kunna bidra till måluppfyllelsen. Miljökvalitetsmålen följs upp årligen med hjälp av tre till fem indikatorer som formulerats för varje mål. För målet ”Levande skogar” kan samtliga tre indikatorer kopplas till hur skogsbruk bedrivs. Indikatorerna är ”Gammal skog”, ”Häckande fåglar i skogen” och ”Miljöhänsyn i skogsbruket”. Detta gäller även de tre indikatorerna för miljökvalitetsmålet ”Ett rikt växt- och djurliv”, där indikatorerna är ”Bevarandestatus för naturtyper”, ”Rödlistade arter” och ”Skyddad produktiv skog”. Av de fyra indikatorerna för ”Bara naturlig försurning” finns en indikator som kopplar direkt till skogsbruk, ”Försurning från skogsbruket”. Skogens roll i klimatfrågan täcks in i miljökvalitetsmålet ”Begränsad klimatpåverkan”. Skogsbrukseffekter på vattenkvalitet finns med i miljökvalitetsmålen


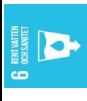








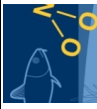

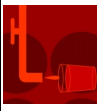





”Grundvatten av god kvalitet”, ”Levande sjöar och vattendrag” och ”Hav i balans och levande kust och skärgård”. Vattenkvalitet är även en viktig del i målet ”Giftfri miljö” och ”Ingen övergödning”, två miljökvalitetsmål där både land- och vattenmiljön ingår. Våtmarker är en integrerad del av skogsmarken, och därmed är även ”Myllrande våtmarker” ett viktigt miljökvalitetsmål i skogliga sammanhang. Slutligen finns fjällnära skogar representerade i miljökvalitetsmålet ”Storslagen fjällmiljö”. För samtliga dessa elva miljökvalitetsmål med kopplingar till skog bedöms att ytterligare åtgärder krävs för att uppnå målen (Naturvårdsverket 2019).

De globala hållbarhetsmålen och de nationella miljökvalitetsmålen kan komplettera varandra vid avvägningar inom skogsbruket. En fördel med de globala hållbarhetsmålen är att de täcker in alla typer av mål – ekonomiska, ekologiska och sociala – medan de nationella miljökvalitetsmålen fokuserar på de ekologiska målen. De nationella miljökvalitetsmålen har å andra sidan fördelen att de är anpassade till svenska förhållanden, med indikatorer som vidareutvecklats under många år, och kan följas upp med befintliga miljöövervakningsnät och verktyg. I praktiken är båda målrämverken relevanta för beslut och åtgärdsarbeten, och sambandet mellan de båda ramverken är tydligt formulerat: ”Att uppnå miljömålen innebär att vi uppnår den ekologiska dimensionen av Agenda 2030 i Sverige”.

Hur de globala hållbarhetsmålen och de nationella miljökvalitetsmålen, med kopplingar till skog, förhåller sig till varandra illustreras i Tabell 1. Tabellen visar tydligt skogens centrala roll för hållbarhetsmålet ”Ekosystem och biologisk mångfald”, för vilket det finns delmål som passar in på nio av de elva svenska miljökvalitetsmålen med skoglig anknytning. Det finns även flera miljökvalitetsmål som täcker in delmål från de två vattenrelaterade globala hållbarhetsmålen, ”Rent vatten och sanitet” och ”Hav och marina resurser”, samt från ”Hållbar konsumtion och produktion”. Alla dessa tre hållbarhetsmål har också relevans för skogsbruket.

Eftersom de nationella miljökvalitetsmålen som beslutats av riksdagen är betydligt mer detaljerade och anpassade till svenska förhållanden än hållbarhetsmålen, kommer beskrivningen nedan av miljöeffekter av skogliga klimatstrategier på ekosystem att relateras till dessa. Vi fokuserar på fyra miljökvalitetsmål, som tillsammans täcker in de viktigaste miljöeffekterna på biodiversitet och mark- och vattenkvalitet som relaterar till skogsbruk: ”Levande skogar”, ”Bara naturlig försurning”, ”Ingen övergödning” och ”Giftfri miljö”.

**Tabell 1.** Samband mellan nationella miljö kvalitetsmål (kolumner) och globala hållbarhetsmål (rader) med relevans för skog och skogsbruk. Färgade rutor indikerar att det finns delmål för det aktuella hållbarhetsmålet som passar in på miljö kvalitetsmålet. Tabellen är en förenklad version av figuren "Mappning av Sveriges miljömål mot de globala hållbarhetsmålen" från en nationell utredning av miljö mässamordningen (SOU, 2017).

																	
3. HÅLLBAR VÄXELVÄRDE	6. RENT VATTEN OCH SANITÄT	7. HÅLLBAR ENERGI FÖR ALLA	12. HÅLLBAR KONSUMTION OCH PRODUKTION	13. BEKÄMPA KLIMATET OCH FÖRENINGARNA	14. HÅLLBARA HAVEN OCH RESURSER	15. HÅLLBARA LAND OCH ÖKOSYSTEM	1. Begränsad klimatpåverkan	3. Bara naturlig försurning	4. Giffri miljö	7. Ingen övergödning	8. Levande sjöar och vattendrag	9. Grundvatten av god kvalitet	10. Hav i balans och levande kust och skärgård	11. Myllrande våtmarker	12. Levande skogar	14. Storslagen fjällmiljö	16. Ett rikt växt- och djurliv

## 2. Skogsbruksåtgärder med klimatfokus som kan påverka övriga miljömål

Ett skogsbruk med fokus på att öka kolinbindningen och/eller öka produktionen av förnybar energi och biomassa för substitution kan påverka miljömålen i skogen på olika sätt. Arealen av skyddad skog och intensiteten i brukandet i de områden där skogsbruk bedrivs kan förändras, vilket kan påverka såväl biologisk mångfald som mark- och vattenkvalitet. Både hur mycket skog som skyddas och skogsbruksintensiteten kan därmed innebära stora effekter på miljömålen i skogen.

De flesta former av skogsskötsel, inklusive trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk, har en negativ effekt på skogens biologiska mångfald genom att skogens strukturella heterogenitet minskar (IPBES 2019). Skydd av skog, det vill säga att avsätta skogsmiljöer som inte får påverkas av skogsbruk, har därför ansetts vara nödvändigt i arbetet med att bevara skogens biologiska mångfald. Framför allt i södra Sverige finns ett behov av att utöka arealen av skyddad, orörd skog (Eide m fl 2020). Hur skydd av skog påverkar kolbalansen är en mer komplex fråga (se kapitel 2).

Slutavverkning i trakthyggesbruk innebär en stor förändring i livsmiljön för många arter. Avverkning leder även till ett abrupt stopp på näringsupptaget i skogsmarken, och under några år är upptaget väldigt litet, vilket påtagligt påverkar markkemin. Skogsbruksstrategier för att binda in kol och/eller öka mängden förnybar energi och biomassa för substitution, som innebär att frekvens och intensitet av avverkningar förändras åt det ena eller andra hållet, kan därmed påverka biologisk mångfald, mark och avrinnande vatten. Kontinuitetsskogsbruk innebär att enbart en mindre del av ett bestånd avverkas vid varje tillfälle, och innebär därmed en mindre förändring av skogen som livsmiljö, och även en mindre förändring i näringsomsättningen i skogsekosystemet.

Efterfrågan på grenar och toppar (grot) från avverkningar ökar, till följd av efterfrågan på förnybar energi (Börjesson m fl 2017). I Sverige anmäldes grotuttag vid 35-41 procent av slutavverkningarna under femårsperioden 2015-2019, medan stubbskörd var mycket ovanligt (Skogsstyrelsen 2021). Skörd av grot och stubbar innebär dels att näringsämnen och buffringkapacitet mot försurning förs bort, dels att livsmiljöer som



kan vara viktiga för den biologiska mångfalden minskar, och påverkar därmed flera olika miljömål.

Skogsbruksåtgärder som direkt påverkar markens näringsstatus är näringstillförsel av olika slag. Detta kan potentiellt även påverka markvegetation och ytvatten. Den mest utbredda formen av näringstillförsel är kvävegödsling, som görs för att höja tillväxten. Effekten på tillväxt har gjort att gödsling ofta förespråkas i samband med skogsbruk för begränsa klimatförändringen. En annan form av näringstillförsel är askåterföring, vilket rekommenderas av Skogsstyrelsen vid uttag av grot över en specifik mängd (Skogsstyrelsen 2019b,c). Syftet med askåterföring är att återföra kalcium, magnesium, kalium, fosfor och buffrande förmåga till marken, som genom avrinning också kan komma ytvattnet till godo. Utöver positiv påverkan på dessa näringsämnen och den buffrade förmågan kan dock även negativa bieffekter uppkomma, i och med den pH-höjning som askåterföringen medför.

Störningar i marken i skogen i samband med skogsbruk kan leda till omrörning som sätter fart på olika markprocesser (Kreutzviser m fl 2008), bland annat metylering av kvicksilver (Lindqvist m fl 1991). Markberedning, körningar med skogsmaskiner på fuktig mark och skörd av stubbar är exempel på skogsbruksaktiviteter som kan leda till denna form av störningar. Skogsbruksstrategier för att binda in kol och/eller öka mängden förnybar energi kan påverka omfattningen av störningar i båda riktningarna, och därmed påverka risken för utlakning av framför allt kvicksilver.

### 3. Påverkan på miljömålet ”Levande skogar”

Biologisk mångfald i skogen ryms i första hand inom miljökvalitetsmålen ”Levande skogar” och ”Ett rikt växt- och djurliv”. För att förstå effekterna av ett förändrat skogsbruk på biologisk mångfald krävs tillgång till kvantitativa data över förändringar av biologisk mångfald och markanvändning över tid. Sådana tidsserier saknas för de flesta organismgrupper, undantaget fåglar och en del viltarter. Av denna anledning har fåglar ofta använts som indikatorgrupp i uppföljningsarbete rörande förändringar av biologisk mångfald mer generellt. ”Häckade fåglar i skogen” är en av de tre indikatorerna för miljökvalitetsmålet ”Levande skogar”. Mot bakgrund av det relativt goda kunskapsläget gällande fåglar får denna organismgrupp ett större utrymme i denna rapport jämfört med övriga.

#### 3.1 Betydelsen av skyddade områden för biologisk mångfald i skogen

I Sverige har omkring tvåtusen skogslevande arter klassificerats som hotade eller sårbara och ungefär hälften av dessa är mer eller mindre beroende av äldre skogar (ArtDatabanken 2015), vilket understryker relevansen av indikatorn ”Gammal skog” för miljökvalitetsmålet ”Levande skogar”. Aktiva skyddsåtgärder, inklusive strikt bevarande av skog och riktad skötsel, är speciellt viktiga för organismer som gynnas av eller är specialiserade på äldre skogar med ett rikt inslag av döda och döende träd. I Sverige var sex procent av den totala produktiva skogsmarken formellt skyddad 2019 (SCB 2019), och 13 procent av den totala skogsarealen (Skogsstyrelsen 2019a). Andelen formellt skyddad skog av den totala skogsytan varierar geografiskt med stora regionala skillnader. Som exempel var andelen formellt skyddad skog 23 procent i Norrbottens län men bara två procent vardera i Jönköpings län, Kronobergs län och Västernorrlands län 2019 (SCB 2019). Med formellt skyddad skog avses här bland annat nationalparker, naturreservat med föreskrifter mot skogsbruk, skogliga biotopskyddsområden, Natura 2000 SCI-områden, skyddsvärda statliga skogar, samt

mark som är på väg att bli formellt skyddad (SCB 2019). I de boreala delarna av Sverige finns utöver detta stora andelar skog med potentiellt höga värden för biologisk mångfald som inte är skyddade i dag (Mikusiniński m fl 2021), och som skulle kunna få stor betydelse för bevarandet av biologisk mångfald, beroende på hur dessa kommer att användas.

Bevarande av biologisk mångfald anses generellt vara mest effektivt att åstadkomma genom en prioritering av hög lokal habitatkvalitet eller ökad yta för de mest attrika habitaterna (Hodgson m fl 2009, 2011). Forskning i de nordiska länderna har länge visat att habitatförlust och fragmentering av gamla skogar har missgynnade skogsfåglar (Järvinen m fl 1977, Virkkala 1987, Fraixedas m fl 2015a). Äldre skogar med en hög andel död ved och strukturell heterogenitet är viktiga för flertalet skogsspecialister i norra Europa, oberoende av om skogarna är strikt taget skyddade eller inte (Helle och Järvinen 1986, Fraixedas m fl 2015b). Utmaningen är att bevara denna strukturella heterogenitet utanför skyddade områden kontinuerligt över större landskapshelheter. Framför allt skogsspecialister har gynnats av skyddade skogar, där den strukturella heterogeniteten har bevarats (Virkkala och Rajasärkkä 2012). Forskning har visat att proportionen fågelarter förknippade med äldre skogar kan vara femfaldigt högre i skyddade områden (Virkkala och Rajasärkkä 2007), och att skogar som sparas för biologisk mångfald konsekvent utvecklar högre biodiversitetsvärden över tid jämfört med brukade skogar, givet att de skyddade ytorna utvecklas på rätt sätt (Peura m fl 2018).

I Finland har forskare föreslagit att all kvarvarande gammal skog bör bevaras för att stoppa den kraftiga nationella minskningen av fågelarter som föredrar äldre skogar (Virkkala och Rajasärkkä 2007, Fraixedas 2017). Områden som behöver prioriteras är de som finns i och i anslutning till kända fyndplatser av missgynnade skogsarter (Hanski 2000, Ranius och Kindvall 2006), samt resterande äldre skogar i regioner där dessa är underrepresenterade (Virkkala och Rajasärkkä 2007). Skyddade områden har också visat sig ha mer stabila populationer av fågelarter som varit utsatta för negativa effekter av klimatförändringar jämfört med oskyddade områden (Lehikoinen m fl 2019). Detta tyder på att skyddade områden kan bidra till att bromsa in klimatförändringens negativa effekter på biologisk mångfald i skogar. Den enkla grundprincipen är att bevarandet av biologisk mångfald kräver att arternas livsmiljöer bevaras, men frågan är hur detta låter sig göras i brukad skogsmark i ett föränderligt klimat. Kunskapen är begränsad när det gäller hur biologisk mångfald påverkas av åtgärder med syftet att begränsa klimatförändringen eller anpassa skogsbruket till ett förändrat klimat (Felton m fl 2016). Att områden skyddas kan av somliga ses som något negativt i klimatdebatten, då biomassa inte kan skördas inom dessa områden för att användas till exempel till förnybar energi. Andra kan, i samma debatt, argumentera för att den

skyddade skogen istället ska ses som en klimatresurs eftersom den står kvar och binder in kol.

## 3.2 Påverkan av åtgärder i brukad skog

Trots att biologisk mångfald är speciellt hög i äldre, obrukade skogar kan bevarandeinsatser i brukade skogar också spela en stor roll för mångfalden, vilket också reflekteras i indikatorn ”Miljöhänsyn i skogsbruket” under miljö kvalitetsmålet ”Levande skogar”.

Framför allt kan spridningskorridorer mellan skogar med höga naturvärden, samt ökad hänsyn vid avverkning, förbättra landskapens konnektivitet, vilket kan förbättra förutsättningarna för arter att anpassa sig till ett föränderligt klimat (Isaac m fl 2018). Ökad konnektivitet innebär inte nödvändigtvis att livsmiljöer är fysiskt kopplade till varandra; en fullt fungerande korridor kan lika väl bestå av mindre skogsfragment som kan jämföras med en kedja av öar, givet att dessa ligger tillräckligt nära varandra i förhållande till arternas spridningsförmåga. Även biotopskydd på områden som utgörs av små ytor kan vara värdefulla för bevarandet av biologisk mångfald (Wintle m fl 2019), framför allt när den största hotbilden mot en art utgörs av förlust av enskilda habitat (Isaac m fl 2018). Förutsättningarna för bevarande av biologisk mångfald kan dock förändras under ökande storskaliga hotbilder, såsom extremväder kopplat till klimatförändringen, då vikten av åtgärder på landskapsskala ökar, till exempel genom att öka antal habitat i det omkringliggande landskapet och befrämja spridningskorridorer (Isaac m fl 2018). Därför kan åtgärder även på hyggen få en stor betydelse i arbetet med bevarandet av den biologiska mångfalden i skogar.

Genom att bevara nyckelbiotoper i samband med avverkning kan biologisk mångfald även främjas i produktionsskog, eftersom biotoperna representerar viktiga miljöer för biologisk mångfald. I princip kan sådana nyckelbiotoper definieras som riktade åtgärder för att bevara specifika arter, såsom riktlinjerna för avgränsning av flygekorrr habitat i samband med avverkning i Finland (Santangeli m fl 2013). Jämfört med skogar i naturligt tillstånd kan nyckelbiotoper generellt ha ett lika högt artantal och liknande artsammansättning (Häkkilä m fl 2021), men nyckelbiotoperna som bevaras i samband med avverkning har inte ansetts kunna ersätta skyddade områden fullt ut, eftersom de förstnämnda i vanliga fall är för små (Hanski 2005, Gustafsson och Hannerz 2018).

Effekter av skogsbruk på biologisk mångfald har i grova drag fokuserat på två spår, som i ekologisk bemärkelse överlappar med varandra: (i) bevarandet av enskilda träd, bestånd, högstubbar och annan skogsstruktur på hyggen, så kallade hänsynstagande

åtgärder, och (ii) kontinuitetsskogsbruk. Skogscertifiering i Sverige fokuserar i stor utsträckning på det första av dessa, och ett ökat biomassaottag från skogsmark kan här i förlängningen ha effekter på den biologiska mångfalden. En sammanfattning av olika hänsynstagande åtgärder visar att skogsfåglar gynnas av att enskilda träd eller bestånd lämnas kvar vid avverkning, och att denna gynnsamma effekt ökar med ökad andel träd som sparas (Fedrowitz m fl 2014). Vidare observerades arter med hög bevarandestatus sällan på avverkade ytor trots hänsynstagande åtgärder (Fedrowitz m fl 2014), vilket tyder på att man främst gynnar arter med flexibla miljökrav då man sparar träd i samband med avverkning. Dock har sådana effekter oftast rätt ensidigt utvärderats på skogsfåglar i strikt bemärkelse (Ram m fl 2020), och i mindre utsträckning på arter som föredrar öppna eller halvöppna livsmiljöer. I Sverige är det alltså möjligt att certifieringsåtgärder har gynnat vanliga skogsarter, men det går inte i nuläget att koppla dessa effekter till specifika åtgärder (Ram m fl 2017). Arter som mest förknippas med jordbrukslandskap kan gynnas av att man lämnar kvar enstaka högstubbar eller högar med kvistar och trädtoppar (ortolansparv och törnskata; se Ram m fl 2020).

Uttag av grenar och toppar (grot) och stubbar för energiändamål innebär att död ved som utgör potentiellt substrat för olika arter tas bort från ekosystemet, och det kan därmed även påverka den biologiska mångfalden negativt. I brist på annan död ved i produktionsskogar är framför allt stubbar viktiga substrat för många arter (de Jong och Dahlberg 2017). En annan effekt är att vegetationsstrukturen förändras genom att till exempel grot ersätts av annan vegetation, vilket innebär att en viss typ av mikrohabitat försvinner. En ytterligare risk är lagringshögarna för grot och stubbar, som kan locka till sig insekter och därmed utgöra en ekologisk fälla för dem då de följer med när biomassan transporteras till förbränningsanläggningen.

En sammanställning av ett stort antal studier visar att det är stor skillnad på hur viktiga olika typer av substrat är (de Jong och Dahlberg 2017, de Jong m fl 2017, de Jong m fl 2018). En slutsats var att grot från gran kan tas ut i relativt stor omfattning, på upp till 50 procent av hyggerna, utan att det bör utgöra någon risk för den biologiska mångfalden. Däremot bör uttaget av grot från tallskog, och framför allt lövskog, begränsas kraftigt. För stubbar, som utgör ett viktigt substrat framför allt för skalbaggar, bedöms enbart 10-20 procent kunna tas ut utan negativa effekter på den biologiska mångfalden, och en del stubbar bör lämnas kvar även på dessa hyggen. De organismer som huvudsakligen studerats är skalbaggar, lavar, mossor och svampar, medan det finns färre studier på till exempel flugor och steklar.

Tillförsel av kväve till ekosystem, genom atmosfäriskt nedfall eller gödsling, påverkar vegetationens sammansättning så att arter som gynnas av kväve, till exempel olika gräsarter, brer ut sig på bekostnad av arter som trivs i mer kvävefattiga förhållanden, till exempel blåbär (Bobbink m fl 1998, Nordin m fl 2005). Kvävegödsling kan gynna

hjorddjur och övervintrande insektätande fåglar (till exempel kungsfågel), men effekterna på andra artgrupper har varierat från neutrala (till exempel hönsfåglar) till negativa (mossor, lavar och en del dvärgboskar; Sullivan och Sullivan 2018). Ett gödslingsexperiment i centrala Sverige visade att effekterna var långvariga, då skillnaderna mellan gödslad och ogödslad skogsmark var stora även 20 år efter sista gödslingen och cirka tio år efter avverkning och nyplantering (Strengbom och Nordin 2008). Markvegetationen på den gödslade skogsmarken var tätare och uppvisade mindre biodiversitet; förekomsten av dvärgboskar var 40 procent lägre på den gödslade marken än på den ogödslade och blåbärsproduktionen var 70 procent lägre. Däremot var förekomsten av gräs mer än 100 procent högre på den gödslade marken. Även sammansättningen av mossor och lavar skiljde sig åt. I en fördjupad studie inom samma experiment konstaterades att effekter av gödsling på markvegetation kan vara mycket små initialt, men bli stora i samband med störningar, till exempel avverkning (Strengbom och Nordin 2012). Forskningen har däremot inte beaktat i vilken utsträckning kvävegödsling påverkar tillgången till resurser såsom föda och boplatser för fåglar på hyggen (Ram m fl 2020).

### 3.3 Kontinuitetsskogsbruk och biologisk mångfald

Kontinuitetsskogsbruk har antagits gynna biologisk mångfald genom att uttaget av timmer sker jämnare över tid – utan den öppna hyggesfasen som kännetecknar trakthygge kan skogen strukturellt påminna om en naturlig skog som påverkas av mer frekventa men mindre störningar över tid (Kuuluvainen m fl 2012). Kontinuitetsskogsbruk har setts som en potentiell lösning för att minska målkonflikter mellan skogsbruk och bevarandet av biologisk mångfald (Gustafsson m fl 2012), men hur kontinuitetsskogsbruk verkligen påverkar biologisk mångfald har inte utretts på djupet. Kontinuitetsskogsbruk kan dock bidra till en ökad strukturell heterogenitet i skogen genom att en större spridning av träd i olika åldrar bevaras jämfört med vid trakthygge, vilket har gynnsamma effekter på skogens biologiska mångfald generellt (Savilaakso m fl 2021).

En studie i Sverige visade att skogar med kontinuitetsskogsbruk upprätthöll en likadan sammansättning av skalbaggsarter som obrukade skogar med naturvärden, till skillnad från både nya och äldre hyggen (Joelsson m fl 2017). I Finland har effekterna av kontinuitetsskogsbruk utvärderats genom att koppla ett flertal artspecifika biodiversitetsmodeller till skogstillväxtnsmodeller, som simulerar framtida skogar givet specifika tillväxt- och skötselparametrar (Peura m fl 2018). Dessa utvärderingar kan ge en indikation på hur biologisk mångfald kan förväntas förändras under

kontinuitetsskogsbruk. Generellt är utfallet på biologisk mångfald starkt kopplat till hur skogarna sköts, framför allt vilken andel av de stora träden som utvinns vid avverkning, men vissa fågelarter, såsom järpe, mindre hackspett, tretåig hackspett och stjärtmes, kan gynnas (Peura m fl 2018). Utfallet av denna typ av analyser är dock känsligt för de antaganden man gör beträffande skötsel, och skulle därför behöva kompletteras med ett bredare spektrum av skötselscenarier (Eyvindson m fl 2018) samt biodiversitetsmodeller som bygger på empiriska data i stället för expertomdömen gällande potentiell förekomst av indikatorarter.

## 4. Påverkan på miljömålet ”Bara naturlig försurning”

Försurning av mark och vatten, orsakat av surt nedfall, har varit ett känt miljöproblem sedan slutet av 1960-talet (Odén 1968). Även om svavelutsläppen minskat kraftigt de senaste decennierna (Nyiri m fl 2009) så går återhämtningen långsamt (Graf Pannatier m fl 2011, Akselsson m fl 2013 Futter m fl 2014). I Sverige är försurningen mest utbredd i de sydvästra delarna, där det försurande nedfallet varit som störst (Pihl Karlsson m fl 2011). För miljökvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning” bedöms att fler åtgärder krävs för att uppnå målet. Emissioner från landbaserade källor och sjöfart behöver minskas, och skogsbruket behöver anpassas så att försurningspåverkan blir mindre.

Skogsbruket försurar genom att träden tar upp näringsämnen, främst positiva kalcium-, magnesium-, kalium- och ammoniumjoner, och samtidigt frigör vätejoner. När träden dör eller avverkas bryts biomassan på marken ner, näringsämnen frigörs och vätejoner konsumeras, vilket gör att näringshalten i marken ökar och försurningen minskar över tiden, men skörd av biomassa leder till att en del av försurningen och näringsförlusten blir permanent. Val av skogsbruksstrategier kan därmed påverka försurning och återhämtning från försurning. Ju snabbare skogen växer, och ju mer som skördas, desto mer buffringskapacitet förs bort från marken. Strategier för att öka skogens klimatnytta som går ut på att öka tillväxten och skörden, genom att välja snabbväxande trädslag, använda tillväxtfrämjande skogsbruksmetoder, kortare omloppstider och uttag av grot, innebär därmed en negativ påverkan på möjligheten att uppnå försurningsmålet. Inte bara tillväxthastigheten hos olika trädslag påverkar effekterna i marken, utan även skillnader i rotdjup. Lövskog med djupare rotsystem kommer åt näring från djupare lager än barrskog, och ytliga lager får därmed tillgång till mer näring på grund av förnåfall (Rosengren m fl 2004).

Mot bakgrund av detta har en ny indikator införts för miljökvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning” sedan 2018, ”Försurning från skogsbruket”. Den baseras på begreppet ”kritiskt biomassauttag”, vilket är ett mått på hur mycket biomassauttag som bedöms kunna göras utan negativa försurningseffekter (Akselsson m fl 2018).



Indikatorn ”Försurning från skogsbruket” fokuserar på försurningseffekter vid uttag av grot, eftersom det är den skogsbruksåtgärd som har störst försurningspåverkan. Grenar, toppar och barr har mycket högre halter av så kallade baskatjoner – kalcium, magnesium och kalium – än stammar (Akselsson m fl 2007, Palvainen m fl 2012, Riek m fl 2012, Lucas m fl 2014), och om grotet hade fått ligga kvar på marken och brytas ner hade det motverkat försurningen. Iwald m fl (2013) räknade ut att den försurande effekten av helträdsuttag i granskog (stammar, grenar, toppar och stubbar) var upp till 2,5 gånger så stor som effekten av försurande nedfall. För tallskog är effekten mindre på grund av mindre grenbiomassa och lägre halter än i granskog. Halterna i stubbar (Hellsten m fl 2013) är lägre än i grot, och uttag av stubbar innebär därmed en mindre påverkan på försurningsmålet.

Effekten av grotuttag på marken har påvisats i experiment i Europa och Nordamerika (Achat m fl 2015, Thiffault m fl 2011). Storleken på effekten varierade mycket. Helmisaari m fl (2014) ger exempel både på experiment som visar på negativa effekter av helträdsuttag på markförsurning, och experiment som inte visar på någon signifikant påverkan. Zetterberg m fl (2016) studerade effekterna i långliggande försök, och kunde konstatera att mycket av effekterna i marken hade försvunnit efter 30 år. Detta förklarades i en modelleringsstudie med att effekterna ”exporterats” till avrinnande vatten (och att de därmed kan påverka ytvatten) och till den växande biomassan, genom minskat upptag av baskatjoner (Erlandsson Lampa m fl 2019). de Jong m fl (2018) drog slutsatsen att grotuttag, om inte näringsförlusterna kompenseras, bidrar till försurning av marken, och även potentiellt av ytvatten även om den risken bedömdes som mindre.

Askåterföring ökar generellt sett pH-värdet och basmättnad först i humuslagret, och några år senare i mineraljorden (Reid m fl 2014). Det finns få experiment vad gäller effekter på ytvatten, men i en metaanalys kunde effekter på ytvatten påvisas (Johansson 2014). Askdoserna var dock ofta högre än de som rekommenderas. I de Jong m fl (2017) drogs slutsatsen att effekten på ytvatten med de doser som nu rekommenderas förmodligen är liten.

En annan källa till försurning är nitrifiering av överskottskväve som främst uppstår vid avverkning eller gödning, men som i sydvästligaste Sverige kan ske även utan dessa åtgärder (Akselsson m fl 2010). Nitrifiering gör att vätejoner frigörs i marklösningen, och kan transporteras ut till ytvattnet. Tillväxt av träd och skörd leder å andra sidan till en kvävelättnad i skogsekosystemet. Mot bakgrund av detta är det viktigt att bedriva ett skogsbruk där utlakning av kväve begränsas inte bara för miljökvalitetsmålet ”Ingen övergödning”, utan även för ”Bara naturlig försurning”.

## 5. Påverkan på miljömålet ”Ingen övergödning”

Sveriges skogar är generellt bra på att ta upp kväve, och ju mer skogen växer desto mer kväve tas upp (Tamm 1991). Förhöjd utlakning av nitratkväve i växande skog förekommer endast i sydvästligaste Sverige, där kvävenedfallet är och har varit som högst (Akselsson m fl 2010). Nettobelastningen av kväve från skogsbruk till sjöar, vattendrag och hav utgör enligt nationella beräkningar sex procent av den totala kväveutlakningen från markanvändning (skogs- och jordbruk), och kommer i huvudsak från slutavverkningar (Ejhed m fl 2016) på grund av nitrifiering av det överskott av kväve som uppstår efter avverkning. Nitratkväve kan även läcka ut till grund- och ytvatten (Gundersen m fl 2006, Kreutzweiser m fl 2008). Hur mycket kväve som frigörs beror i hög grad på hur högt kvävenedfallet är, och har varit, i området (Gundersen m fl 2006). Utlakningen från hyggen är störst i sydvästra Sverige, och minskar norrut (Akselsson m fl 2004). Hur länge nitratkvävehalten är förhöjd beror i hög grad på markvegetations utveckling, då markvegetationen kan ta upp mycket av kvävet (Gundersen m fl 2006).

Även om kväveutlakning från skogsmark bidrar i låg grad till försurning jämfört med utlakningen från jordbruk, är det viktigt att utlakningen från skogsbruk inte ökar, eftersom miljökvalitetsmålet ”Ingen övergödning” är långt ifrån uppfyllt. I ett skogsbruk med snabbare tillväxt och kortare omloppstider blir det fler tillfällen för förhöjd kväveutlakning. Samtidigt tar skogen upp mer kväve då den växer snabbare, och nettoeffekten är svårbedömd. I obrukade skogar, eller skogar med kontinuitetsskogsbruk, saknas hyggesfaser och den förhöjda kväveutlakning som de innebär.

Den skogsbruksåtgärd som innebär störst risk för kväveutlakning är kvävegödsling. Kvävegödsling för att öka tillväxten i skogen blev vanligt i mitten av 1960-talet. Omfattningen var som störst i mitten av 1970-talet, minskade till en förhållandevis låg nivå på 1990-2000-talen på grund av risken för negativa effekter på mark och vatten, varefter den började öka igen (Lindkvist m fl 2011). Klimatförändringen har ökat intresset för kvävegödsling, eftersom ökad tillväxt kan ge högre produktion av förnybar

energi, och även ha en positiv inverkan på kolinlagring i mark och biomassa (Sathre m fl 2010, Johnson och Curtis 2001, Högberg m fl 2014). Effekten av kvävegödsling på kväveutlakning, liksom effekten på träd tillväxt, beror på kvävestatusen för ekosystemen, det vill säga om kvävet kan tas upp av träd, övrig vegetation och mikroorganismer eller om det uppstår ett överskott (Emmett 2007). Överskott av kväve kan innebära övergödning av marken med förändrad markvegetation som följd (Bobbink m fl 1998, 2010), samt förhöjd kväveutlakning vilket kan bidra till övergödning och försurning av ytvatten och försämring av grundvattenkvaliteten (Ellis m fl 2001). Förhöjda halter av kväve i markvatten efter gödsling har också uppmätts i flera försök (till exempel Ring m fl 2006, Högbo m fl 2001). När det gäller kväveutlakning efter avverkning i gödslade områden finns exempel både på högre och lägre utlakning i gödslade skogar (Ring m fl 1996, Ring m fl 2003). Det senare skulle kunna förklaras av mer markvegetation efter gödsling. I enlighet med detta begränsar nuvarande kvävegödslingsrekommendationer omfattningen av kvävegödsling i Sverige, och skiljer mellan södra, mellersta och norra Sverige, som har olika kvävebelastning historiskt. (Skogsstyrelsen 2007, 2014). I sydvästra Sverige bör man enligt rekommendationerna inte gödsla alls. För att minska risken att kvävet når vattendrag rekommenderas även en gödslingsfri skyddszon.

Skörd av biomassa innebär bortförsel av kväve från skogen, och denna bortförsel är avsevärt större om grenar, toppar och barr tas med, på grund av den högre koncentrationen av kväve i dessa trädpartier (Akselsson m fl 2005). Denna kvävelättnad skulle kunna innebära en minskad risk för kväveutlakning i hyggesfasen. Gundersen m fl (2006) fann dock motstridiga resultat, med både ökning och minskning av kväveutlakning vid uttag av grot. En slutsats som drogs var att effekten är relativt begränsad.

Kväveutlakningen kan även påverkas av askåterföring, samt vid den omrörning som sker till exempel vid skörd av stubbar. de Jong m fl (2017) gjorde dock bedömningen att effekterna på kväveutlakning, av ökat uttag av grot och stubbar och av askåterföring, är små jämfört med annat som påverkar kväveutlakningen till ytvatten.

## 6. Påverkan på miljömålet ”Giftfri miljö”

Atmosfäriskt nedfall av kvicksilver har lett till att kvicksilver finns lagrat i våra marker (Driscoll m fl 2013). Så länge kvicksilver ligger i marken i sin ursprungliga form är det inte skadligt, men vid metylering, som stimuleras i marker med syrebrist, bildas den giftiga formen metylkvicksilver, som när den lakas ut till ytvattnet blir skadlig för fisk (Lindqvist m fl 1991). Kviksilverutlakning till sjöar och vattendrag är därmed ett stort problem trots att emissionerna minskat kraftigt sedan 1990-talet (Driscoll m fl 2013). I den fördjupade utvärderingen av ”Giftfri miljö” från 2019 (Kemikalieinspektionen, 2019) framgår att EU-gemensamma gränsvärden överskrids i samtliga svenska ytvatten med avseende på kvicksilver.

Metylering kan även triggas av störningar i samband med skogsbruk av två skäl (Eklöf m fl 2014): (i) effekter på hydrologin, till exempel markfuktighet, avrinning och grundvattennivåer, och (ii) effekter på markkemi och temperatur, som påverkar metyleringshastigheten.

Avverkning och skörd är de skogsbruksåtgärder som innebär störst störning av skogsmarken. I en sammanställning av försök från Sverige, Finland och Kanada drogs slutsatsen att 10-25 procent av det metylkvicksilver som återfinns i fisk kommer från skogsbruksåtgärder i samband med skörd (Bishop m fl 2009). I en senare sammanställning, där fler försök som visade på mindre effekter ingick, konstaterades att denna bedömning kan vara överskattad (Eklöf m fl 2016), och slutsatsen drogs att variationen mellan områden är stor. Det finns flera olika faktorer som påverkar om störningar ger utlakning av metylkvicksilver eller inte, bland annat störningens läge i avrinningsområdet och avrinningsområdets egenskaper, till exempel topografi, fuktighet och markens kemiska egenskaper. Markberedning, som görs på merparten av den avverkade arealen, innebär omrörning av marken, och kan förstärka effekten av avverkning på kvicksilverutlakningen (Eklöf m fl 2014).

I en studie av de Jong m fl (2017) framhålls stubbskörd som den skogsstrategi med syftet att bidra till omställningen till fossilfrihet, som potentiellt mest kan påverka utlakning av kvicksilver. Där gjordes dock bedömningen att stubbskörd inte försämrar

möjligheterna att nå miljökvalitetsmålet ”Giftfri miljö” jämfört med skogsbruk utan stubbskörd, men där ofta markberedning ingår. Det konstaterades dock att det är viktigt att ta risken för ökad utlakning av kvicksilver i beaktande vid alla former av skogsbruksåtgärder.

Ett exempel på effekter av störningar är den kraftigt förhöjda utlakningen av metylkvicksilver som uppmättes i ett referensområde i Gårdsjön utanför Stenungsund, när en skogsmaskin av misstag körde över ett referensområde med långa mätserier (Munthe m fl 2004). I den fördjupade utvärderingen av ”Levande skogar” från 2019 (Skogsstyrelsen 2019d) lyfts just körskador upp som ett problem, där åtgärder inom skogsbruket behövs för att minska utlakningen av metylkvicksilver, till exempel genom att förhindra körskador.

En del askor innehåller tungmetaller, och askåterföring kan därmed innebära en risk för att tungmetaller tillförs skogsmarken. I rekommendationerna om askåterföring (Skogsstyrelsen 2019b,c) beskrivs hur dessa negativa effekter kan undvikas, genom exempelvis reglering av askans sammansättning, tidpunkt för spridning och rekommendationer om marktyper som bör undantas. I studien av de Jong m fl (2017) bedömdes dessa bieffekter inte vara något stort problem så länge rekommendationerna följs.

## 7. Slutsatser

Om klimatåtgärder i skogen innebär att mer skog tas i anspråk för brukande och arealen skyddad skog minskar, kan den biologiska mångfalden, och därmed även miljökvalitetsmålen ”Levande skogar” och ”Ett rikt växt- och djurliv”, påverkas negativt eftersom många arter är beroende av gammal skog. Även hur skogsbruket bedrivs i den brukade delen av skogen har betydelse för den biologiska mångfalden, framför allt hur mycket träd som lämnas kvar i samband med avverkning.

Ökad kvävegödsling nämns ofta som ett sätt att öka tillväxten och därmed binda in mer kol i skogen, och producera mer förnybar energi. Det är dock en skogsbruksåtgärd som innebär en risk i relation till miljökvalitetsmålet ”Ingen övergödning”, genom att gödsling leder till förhöjd utlakning av nitratkväve. Även avverkningsfrekvens har betydelse för kväveutlakningen, eftersom mer frekventa avverkningar innebär längre tid då skogsmarken är i en hyggesfas och läcker kväve.

Uttag av grot kan bidra till omställningen till fossilfrihet, men är den skogsbruksåtgärd som har störst påverkan på miljökvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning”. Askåterföring kan motverka de förluster av näringsämnen och buffringkapacitet som sker vid grotuttag. För försurningsmålet är även kväveomsättningen central, eftersom nitrifiering är en försurande process, och därmed kan kvävegödsling också påverka måluppfyllnaden.

En ökad intensitet i skogsbruk medför en risk för ökad utlakning av metylkvicksilver till ytvatten genom den omrörning som körningar i skogen och påverkan av skogsmaskiner innebär.

# Referenser

- Achat, D.L. m fl 2015, Quantifying consequences of removing harvesting residues on forest soils and tree growth – a meta-analysis. *Forest Ecology and Management* 348, 124-141.
- Akselsson, C. och Belyazid, S. 2018, Critical biomass harvesting – Applying a new concept for Swedish forest soils. *Forest Ecology and Management* 409, 67-73.
- Akselsson, C. m fl 2010, Assessing the risk of N leaching from Swedish forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden. *Environmental Pollution* 158, 3588-3595.
- Akselsson, C. m fl 2013, Acidification trends in south Swedish forest soils 1986–2008 – slow recovery and high sensitivity to sea-salt episodes. *Science of the Total Environment* 444, 271-287.
- Akselsson, C. och Westling, O. 2005, Regionalized nitrogen budgets in forest soils for different deposition and forestry scenarios in Sweden. *Global Ecology and Biogeography* 14, 85-95.
- Akselsson, C. m fl 2007, Impact of harvest intensity on long-term base cation budgets in Swedish forest soils. *Water Air and Soil Pollution : Focus* 7, 201-210.
- Akselsson, C. m fl 2004, Regional mapping of nitrogen leaching from clearcuts in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 202, 235-243.
- ArtDatabanken 2015. Rödlistade arter i Sverige 2015.
- Bishop, K. m fl 2009, The Effects of Forestry on Hg Bioaccumulation in Nemoral/Boreal Waters and Recommendations for Good Silvicultural Practice. *Ambio* 38, 373-380.
- Bobbink, R. m fl 1998, The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86, 717–738.
- Bobbink, R. m fl 2010, Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. *Proceedings of an Expert Workshop, Noordwijkerhout*. 23-25.
- Börjesson, P. m fl 2017, Future demand for forest-based biomass for energy purposes in Sweden. *Forest Ecology and Management* 383, 17-26.
- de Jong, J. m fl 2017, Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – how much is environmentally sustainable? *Forest Ecology and Management* 383, 3–13.
- de Jong, J. och Dahlberg, A. 2017, Impact on species of conservation interest of forest harvesting for bioenergy purposes. *Forest Ecology and Management* 383, 37-48.

- de Jong, J. m fl 2018, Miljöpåverkan av skogsbränsleuttag. En syntes av forskningsläget baserat på Bränsleprogrammet hållbarhet 2011-2016. ER 2018:02. Arkitektkopia AB, Bromma. ISSN 1403-1892.
- Driscoll, C.T. m fl 2013, Mercury as a Global Pollutant: Sources, Pathways, and Effect. *Environmental Science and Technology* 47, 4967-4983.
- Eide, W. m fl 2020, Tillstånd och trender för arter och deras livsmiljöer – rödlistade arter i Sverige 2020. SLU Artdatabanken rapporterar 24. SLU Artdatabanken, Uppsala.
- Eklöf, K. m fl 2014, Impact of forestry on total and methyl-mercury in surface waters: distinguishing effects of logging and site preparation. *Environmental Science and Technology* 48, 4690-4698.
- Eklöf, K. m fl 2016, Managing Swedish forestry's impact on mercury in fish: Defining the impact and mitigation measures. *Ambio* 45, 163-174.
- Ejhed, H. m fl 2016, Näringsbelastningen på Östersjön och Västerhavet 2014 Sveriges underlag till Helcoms sjätte Pollution Load Compilation. Havs- och vattenmyndighetens rapport 2016, 12.
- Ellis, C. m fl 2001, Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection: Summary Statement from the Second International Nitrogen Conference. *The Scientific World Journal*, 1.
- Emmett, B. 2007, Nitrogen Saturation of Terrestrial Ecosystems: Some Recent Findings and Their Implications for Our Conceptual Framework. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 7, 99-109.
- Erlandsson Lampa, M. m fl 2019, Effects of whole-tree harvesting on soil, soil water and tree growth – A dynamic modelling exercise in four long-term experiments. *Ecological Modelling* 414, 108832.
- Eyvindson, K. m fl 2018, Mitigating forest biodiversity and ecosystem service losses in the era of bio-based economy. *Forest Policy and Economics* 92, 119-127.
- Fedrowitz, K. m fl 2014, Can retention forestry help conserve biodiversity? A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51, 1669-1679.
- Felton, A. m fl 2016, How climate change adaptation and mitigation strategies can threaten or enhance the biodiversity of production forests: Insights from Sweden. *Biological Conservation* 194, 11-20.
- Futter, M. m fl 2014, Long-term trends in water chemistry of acid-sensitive Swedish lakes show slow recovery from historic acidification. *Ambio* 43, 77-90.
- Fraixedas, S. 2017, Bird populations in a changing world: implications for North European conservation. Doktorsavhandling, Helsingfors universitet.
- Fraixedas, S. m fl 2015a, Impacts of climate and land-use change on wintering bird populations in Finland. *Journal of Avian Biology* 46, 63-72.



- Fraixedas, S. m fl 2015b, Population trends of common breeding forest birds in southern Finland are consistent with trends in forest management and climate change. *Ornis Fennica* 92, 187-203.
- Graf Pannatier, E. m fl 2011, A decade of monitoring at Swiss long-term forest ecosystem research (LWF) sites: can we observe trends in atmospheric acid deposition and in soil solution acidity? *Environmental Monitoring and Assessment*, 174, 3–30.
- Gundersen, P. m fl 2006, Leaching of nitrate from temperate forests e effects of air pollution and forest management. *Environmental Reviews* 14, 1-57.
- Gustafsson, L. m fl 2012, Retention forestry to maintain multifunctional forests: a world perspective. *BioScience* 62, 633-645.
- Gustafsson, L. och Hannerz, M. 2018, 20 års forskning om nyckelbiotoper – Här är resultaten. Institutionen för ekologi, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala. 134 s.
- Hansen, K. och Malmaeus, M. 2016, Ecosystem services in Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31, 626-640.
- Hanski, I. 2000, Extinction debt and species credit in boreal forests: modelling and consequences of different approaches to biodiversity conservation. *Annales Zoologici Fennici* 37, 271-280.
- Hanski, I. 2005, *The shrinking world: Ecological consequences of habitat loss.* Oldendorf/Luhe: International Ecology Institute.
- Helle, P. och Järvinen, O. 1986, Population trends of North Finnish land birds in relation to their habitat selection and changes in forest structure. *Oikos* 46, 107-115.
- Hellsten, S. m fl 2013, Nutrient concentrations in stumps and coarse roots of Norway spruce, Scots pine and silver birch in Sweden, Finland and Denmark. *Forest Ecology and Management* 290, 40-48.
- Helmisaari, H.-S. m fl 2014, Increased utilization of different tree parts for energy purposes in the Nordic countries. *Scandinavian Journal of Forestry Research* 29, 312-322.
- Hodgson, J.A. m fl 2011, Habitat area, quality and connectivity: striking the balance for effective conservation. *Journal of Applied Ecology* 48, 148-152.
- Hodgson, J.A. m fl 2009, Climate change, connectivity and conservation decision making: back to basics. *Journal of Applied Ecology* 46, 964-969.
- Häkkilä, M. m fl 2021, Are small protected habitat patches within boreal production forests effective in conserving species richness, abundance and community composition? A systematic review. *Environmental Evidence* 10, 2.
- Högberg, P. m fl 2014, Effekter av kvävegödning på skogsmark Kunskapssammanställning utförd av SLU på begäran av Skogsstyrelsen. Skogsstyrelsen Rapport 1, 2014.
- Högbom, L. m fl 2001, Nitrogen Fertilization Effects on Stream Water Cadmium Concentration. *Journal of Environmental Quality* 30, 189-193.

- IPBES 2019, Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Brondizio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. (red). IPBES secretariat, Bonn, Tyskland.
- Isaac, N.J.B. m fl 2018, Defining and delivering resilient ecological networks: Nature Conservation in England. *Journal of Applied Ecology*, 55, 2537-2545.
- Iwald, J. m fl 2013, Acidifying effect of removal of tree stumps and logging residues as compared to atmospheric deposition. *Forest Ecology and Management* 290, 49-58.
- Järvinen, O. m fl 1977, Effects of modern forestry on the numbers of breeding birds in Finland in 1945–1975. *Silva Fennica* 11, 284-294.
- Joelsson, K. m fl 2017, Uneven-aged silviculture can reduce negative effects of forest management on beetles. *Forest Ecology and Management*, 391, 436-445.
- Johansson, M. 2014, Askåterföring på skogsmark – en metaanalys om påverkan på ytvattnets syra-baskemi. Inst. för skogens ekologi och skötsel, rapport 2104, 4
- Johnson, D. och Curtis, P. 2001, Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. *Forest Ecology and Management* 140, 227-238.
- Kemikalieinspektionen 2019. Fördjupad utvärdering av Giftfri miljö 2019 Analys och bedömning av miljö kvalitetsmålet Giftfri miljö. Rapport 2/19.
- Kreutzweiser, D.P. m fl 2008, Logging impacts on the biogeochemistry of boreal forest soils and nutrient export to aquatic systems: a review. *Environmental Reviews* 16, 157-179.
- Kuuluvainen, T. m fl 2012, Even-aged and uneven-aged forest management in boreal Fennoscandia: a review. *Ambio* 41, 720-737.
- Lehikoinen, P. m fl 2019, Protected areas act as a buffer against detrimental effects of climate change—evidence from large-scale, long-term abundance data. *Global Change Biology* 25, 304-313.
- Lindqvist, O. m fl 1991, Mercury in the Swedish Environment – Recent research on causes, consequences and corrective methods, *Water, Air, and Soil Pollution* 55, 23-32.
- Lindkvist, A. m fl 2011, Intensive Forestry As Progress Or Decay? An analysis of the debate about forest fertilization in Sweden, 1960–2010. *Forests* 2, 112-146.
- Lucas, R.W. m fl 2014, Intensive forest harvesting and pools of base cations in forest ecosystems: a modeling study using the Heureka decision support system. *Forest ecology and Management* 325, 26-36.
- Mikusiński, G. m fl 2021, Strengthening the Network of High Conservation Value Forests in Boreal Landscapes. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8, 595730.
- Munthe, J. och Hultberg, H. 2004, Mercury and Methylmercury in Runoff from a Forested Catchment - Concentrations, Fluxes, and Their Response to Manipulations. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 4, 607-618.
- Naturvårdsverket 2019, Fördjupad utvärdering av miljömålen 2019. Med förslag till regeringen från myndigheter i samverkan.

- Nordin, A. m fl 2005, Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests: Implications for the nitrogen critical load. *Ambio* 34, 20-24.
- Nyiri, A. m fl 2009, Transboundary Air Pollution by Main Pollutants (S, N, O<sub>3</sub>) and PM. MSC-W Data Note 1, 2009. Arkitektkopia AB, Bromma. ISBN 978-91-620-6865-3.
- Odén, S. 1968, Nederbördensochluftensförsurning–dessorsak, förlopp och verkan i olika miljöer. Bulletin nr. 1, Statens Naturvetenskapliga Forskningsråd, Stockholm, Sverige.
- Palvainen, M. och Finér, L. 2012, Estimation of nutrient removals in stem-only and whole tree harvesting of Scots pine, Norway spruce, and birch stands with generalized nutrient equations. *European Journal of Forestry Research* 131, 945-964.
- Peura, M. m fl 2018, Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia. *Biological Conservation* 217, 104-112.
- Pihl Karlsson, G. m fl 2011, Reduced European emissions of S and N – effects on air concentrations, deposition and soil water chemistry in Swedish forests. *Environmental Pollution* 159, 3571-3582.
- Ram, D. m fl 2017, What drives current population trends in forest birds – forest quantity, quality or climate? A large-scale analysis from northern Europe. *Forest Ecology and Management* 385, 177-188.
- Ram, D. m fl 2020, Forest clear-cuts as habitat for farmland birds and butterflies. *Forest Ecology and Management* 473, 118239.
- Ranius, T. och Kindvall, O. 2006, Extinction risk of wood-living model species in forest landscapes as related to forest history and conservation strategy. *Landscape Ecology* 21, 687-698.
- Regeringskansliet 2017. Sweden and the 2030 Agenda — Report to the UN High Level Political Forum 2017 on Sustainable Development reference. Regeringskansliet, Stockholm. 83 sid.
- Reid, C., Watmough, S.A., 2014. Evaluating the effects of liming and wood-ash treatments on forest ecosystems through systematic meta-analysis. *Canadian Journal of Forest Research* 44, 867-885.
- Riek, W. m fl 2012, Soil acidification and nutrient sustainability of forest ecosystems in the northeastern German lowlands – Results of the national forest soil inventory. *Folia Forestalia Polonica (series A)* 54, 187-195.
- Ring, E. 1996, Effects of previous N fertilisations on soil–water pH and N concentrations after clear-felling and soil scarification at a *Pinus sylvestris* site. *Scandinavian Journal of Forestry Research* 11, 7-16.
- Ring, E. 2003, Urea fertilisations of a Norway spruce stand: effects on nitrogen in soil water and field-layer vegetation after final felling. *Canadian Journal of Forest Research* 33, 375-384.

- Ring, E. 2006, Soil-solution chemistry in a coniferous stand after adding wood ash and nitrogen. *Canadian Journal of Forest Research* 36, 153-163.
- RKA 2019. Agenda 2030 Nyckeltal för kommuner och regioner. Vägledning, april 2019. Version 1.1. Rådet för främjande av kommunala analyser.
- Rosengren, U. och Stjernquist, I. 2004, Gå på djupet—Om rotdjup och rotproduktion i olika skogstyper. SUFOR programme annual report 2004. SLU, Alnarp, Sverige.
- Rummukainen, M. 2021, Skogens klimatnyttor – en balansakt i prioritering (utökad utgåva). CEC Syntes Nr 6. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet. ISBN 978-91-984349-6-5 (En första utgåva publicerades med ISBN 978-91-984349-5-8.)
- Santangeli, A. m fl 2013, Ineffective enforced legislation for nature conservation: A case study with Siberian flying squirrel and forestry in a boreal landscape. *Biological Conservation* 157, 237-244.
- Sathre, R. m fl 2010, Primary energy and greenhouse gas implications of increasing biomass production through forest fertilisation. *Biomass and Bioenergy* 34, 572-581.
- Savilaakso, S. m fl 2021, What are the effects of even-aged and uneven-aged forest management on boreal forest biodiversity in Fennoscandia and European Russia? A systematic review. *Environmental evidence* 10, 1.
- SCB 2019, Statistiskt meddelande: Formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark 2019 (scb.se).
- Skogsstyrelsen 2007, Kvävegödning av skogsmark. Skogsstyrelsen Meddelande 2, 2007.
- Skogsstyrelsen 2014, Föreskrifter om ändring i Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (SKSFS 2011:7) till Skogsvårdslagen; beslutade den 17 december 2013. Skogsstyrelsens författningssamling SKSFS 2013:2. ISSN 0347-5212.
- Skogsstyrelsen 2019a, Statistik om formellt skyddad skogsmark, frivilliga avsättningar, hänsynsytor samt improduktiv skogsmark. Rapport 18, DNR 2018/4167. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- Skogsstyrelsen 2019b, Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder. Rapport 2019/13.
- Skogsstyrelsen 2019c, Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder. Vägledning. Rapport 2019/14.
- Skogsstyrelsen 2019d, Fördjupad utvärdering av Levande skogar 2019. Rapport 2019/2.
- Skogsstyrelsen 2021, Skogstyrelsens statistikdatabas: <http://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/en/> (data hämtat den 9:e februari 2021).
- SOU 2017, Redovisning av uppdraget: En nationell miljömålssamordnare för näringslivet. M 2014:04. Statens offentliga utredningar. Promemoria 2017-06-19.
- Strengbom, J. och Nordin, A. 2008, Commercial forest fertilization causes long-term residual effects in ground vegetation of boreal forests. *Forest Ecology and Management* 256, 2175-2181.

- Strengbom, J. och Nordin, A. 2012, Physical disturbance determines effects from nitrogen addition on ground vegetation in boreal coniferous forests. *Journal of Vegetation Science* 23, 361-371.
- Sullivan, T.P. och Sullivan, D.S. 2018, Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of plants and animals in temperate and boreal forests. *Environmental Reviews* 26, 26-42.
- Tamm, C.O. 1991, Nitrogen in terrestrial ecosystems. In: *Ecological Studies*, vol. 81. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Thiffault, E. m fl 2011, Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests – A review. *Environmental Reviews* 19, 278-309.
- UN 2020, Global indicator framework adopted by the General Assembly (A/RES/71/313), annual refinements contained in E/CN.3/2018/2 (Annex II), E/CN.3/2019/2 (Annex II), and 2020 Comprehensive Review changes (Annex II) and annual refinements (Annex III) contained in E/CN.3/2020/2
- Virkkala, R. 1987, Effects of forest management on birds breeding in northern Finland. *Annales Zoologici Fennici* 24, 281-294.
- Virkkala, R. och Rajasärkkä, A. 2007, Uneven regional distribution of protected areas in Finland: Consequences for boreal forest bird populations. *Biological Conservation* 134, 361-371.
- Virkkala, R. och Rajasärkkä, A. 2012, Preserving species populations in the boreal zone in a changing climate: contrasting trends of bird species groups in a protected area network. *Nature Conservation* 3, 1-20.
- Wintle, B.A. m fl 2019, Global synthesis of conservation studies reveals the importance of small habitat patches for biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Science* 116, 909-914.
- Zetterberg, T. 2016, Long-term soil calcium depletion after conventional and whole-tree harvest. *Forest Ecology and Management* 369, 102–115.

## Dragkampen om skogen

---

Det tar lång tid för träd att växa, och den skog i Sverige som kan slutavverkas fram till år 2100 finns till stor del redan. Avvägningen mellan skogens olika värden, det vill säga vilka nyttor från skogen vi vill prioritera, kan påverka på vilket sätt skogen sköts. De bestånd som förnygras i dag kommer att växa och utvecklas under de kommande årtiondena. 2000-talets sätt att tänka kring skogsskötsel, naturvård, klimat och sociala värden kommer att sätta sin prägel på skogsekosystemen, på samma sätt som 1900-talets sätt att sköta skogen för att främja produktion påverkat den skog som finns i dag.

Hur stor andel av skogen som brukas, och på vilket sätt den sköts, påverkar tillgången på råvara, den biologiska mångfalden, klimatet och risken för klimatrelaterade skador, samt möjligheten att nå uppsatta miljömål. Mer kunskap om hur man bäst förvaltar skogen för en fungerande multifunktionalitet behövs för att vi ska kunna leva upp till alla de förväntningar som i dag finns på skogen. Framtiden behöver tas i beaktande vid skoglig planering. Såväl produktion som naturvård och sociala aspekter behöver ingå i beslut som tas om skötsel och förvaltning. Den pågående klimatförändringen gör denna uppgift än mer komplex.

I den här syntesen, Dragkampen om skogen, tar vi upp den mångfald av värden som tillsammans med klimatnyttan behöver tas hänsyn till. Det första kapitlet beskriver hur den svenska skogen formas av övergripande målsättningar, klimatfaktorer och skötselstrategier. Det andra kapitlet behandlar miljömål och hur skogsskötsel med syftet att öka skogens klimatnytta påverkar möjligheten att uppnå andra satta miljömål.

