

Klimatet och skogen

- underlag för nationell forskning



KUNGL. SKOGS- OCH LANTBRUKSAKADEMIENS
TIDSKRIFT

Nummer 9 • 2006
Årgång 145

Ansvarig utgivare Åke Barklund, sekreterare och VD, KSLA

Redaktör/grafisk form Kerstin Hideborn Alm, KSLA

Text Sammanställd av Johan Sonesson

Foton Skogforsk

Tryckeri Eskilstuna Offset AB

Tryckår/månad 2006/11

Upplaga 1000 ex.

ISSN 0023-5350

ISBN 91-85205-42-7

Samtliga av de senaste årens utgivna nummer finns tillgängliga som nedladdningsbara filer på akademiens hemsida www.ksla.se.

Klimatet och skogen

- underlag för nationell forskning

sammanställt av
Johan Sonesson



Innehåll

Förord	5
Summary	7
Sammanfattning	8
Bakgrund	9
Motiv för ett forskningsprogram	9
Mål	10
Utgångspunkt	11
Forskningsprogrammets struktur	11
Modul 1 SKOGSBRUK	
Inledning	13
Mål	16
Projekt och metoder	16
Modul 2 SKOGEN	
Utgångspunkt	19
Mål	19
Kunskapsläge och forskningsbehov.....	19
Övergripande metod	19
Modellering av trädens tillväxt och skador	20
Svamp- och väderleksskador	24
Insekter	27
Vilt och smågnagare	31
Modul 3 KLIMATET	
Inledning	35
Relevanta forskningsfrågor	37
Utgångspunkter.....	37
Mål	38
Metoder	39
Programmets organisation	41
Finansiering	41

Förord

Föreliggande underlag till ett forskningsprogram har utarbetats inom ramen för KSLAs kommitté för Klimatet och skogen. KSLA har som policy att kommittéer ska ha begränsad livslängd. Kommittén för "Klimatet och skogen" inrättades under 2002 och har verkat under närmare fyra år. I och med avlämnandet av föreliggande underlag till ett forskningsprogram så har kommittén fullgjort sina åtaganden. Ett fortsatt arbete med att utveckla och omforma programmet, samt att initiera dialoger med tänkbara finansörer, genomförs bäst i en annan organisationsform än i en kommitté inom KSLA. I ett tänkt fortsatt arbete ligger bland annat att engagera lämpliga forskningsutförare och att omforma forskningsprogrammet till en eller flera forskningsansökningar. Under kommittéarbetet har många forskare, utöver kommittémedlemmarna, bidragit till programmets utveckling.

Kommittén föreslår att huvudansvaret för det fortsatta arbetet med att realisera forskningsprogrammet läggs på de forskningsorganisationer som representerats i KSLA-kommittén, det vill säga SLU, Skogforsk och SMHI (Rosby Centre) med ett särskilt ansvar för de före detta kommittémedlemmarna. Allteftersom nya kompetensbehov identifieras i samband med framtagandet av en projektplan ska särskild hänsyn tas till dem, utöver kommittén, som bidragit till programmet.

Uppsala 10 juli 2006

För KSLAs kommitté Klimatet och skogen

Kaj Rosén
Ordförande

Summary

This report describes a proposed interdisciplinary research program to develop support tools to help decision-makers in forestry to adapt forest management practices to meet challenges posed by anticipated, but uncertain, climatic changes.

The Climate and the forest Committee at the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry (KSLA) invited around 30 scientists from different disciplines to a two-day workshop. During the workshop objectives, goals, and methods for a research program were formulated. The participants of the workshop subsequently made contributions to this document, which has been completed by the four named editors.

Climate changes would inevitably affect Swedish forestry. The forests have a direct effect on the climate and forestry may have to adapt to the new conditions. Uncertainties about the future climate pose new challenges for forest management of which we have no experience. To support decision-making in this new situation we need new knowledge as well as rational methods to handle uncertainty and risk.

Despite uncertainties in the climate scenarios and lack of knowledge about the responses of forests to likely climatic changes, we can still predict some probable effects of anticipated warming on the Swedish forests. Increased potential for biomass production can be expected, as well as greater opportunities to utilise new tree species in commercial forestry. At the same time, the risks for several kind of damage is likely to increase.

The basic assumption underlying this research program is that knowledge of likely climate changes and associated uncertainties will increase the possibility to achieve forestry objectives.

We advocate a research program consisting of the following three modules, each focusing on different aspects of these issues:

Module 1 FORESTRY with the objectives to:

- Develop a framework to handle uncertainty and risks in forestry.
- Develop decision-maps that systematically describe the consequences of both single and series of management decisions.
- Develop support information for decision-makers in forestry.
- Develop scenarios for future forest management and land-use.

Module 2 FOREST with the objectives to:

- Develop models that describe the relationship between the climate and forest biomass production.
- Estimate probabilities of changes in damage risks under future climate scenarios by establishing relationships between changes in climatic factors and single biotic and abiotic damage factors.
- Make new knowledge available for consulting and decision support to forest owners.

Module 3 CLIMATE with the objectives to:

- Increase our basic understanding of the connections between the regional climate system and the forest.
- Develop new tools, more extensive climate data and useful scenarios for the other two modules.

To fulfil the objectives of the program a well developed interdisciplinary approach and deep integration between the modules are essential. The three modules are mutually dependent on each other to achieve both their specific objectives and the overall objectives of the research program.

Sammanfattning

Denna rapport presenterar ett underlag för ett skogligt orienterat, tvärvetenskapligt forskningsprogram vars mål är att ta fram beslutsstöd för beslutsfattare avseende anpassning av skogsproduktionen till ett osäkert framtida klimat.

Kommittén ”Klimatet och skogen” vid KSLA har genomfört en tvådagars workshop med ett trettiotal inbjudna forskare inom ett brett spektra av forskningsområden. Under workshopen inleddes arbetet med att formulera syften, mål och metoder för ett forskningsprogram. Deltagarna i workshopen har sedan gruppvis skrivit text till de olika delarna som sedan har sammanställts till detta dokument.

Att klimatet förändras påverkar svenskt skogsbruk. Skogen har i sig en direkt inverkan på klimatet samtidigt som skogsbruket kan behöva anpassas till de nya förhållandena. Osäkerhet om kommande klimatförhållanden sätter brukandet av skogen i ett nytt läge som vi inte har någon tidigare erfarenhet av. För att stödja beslutsfattande i denna nya situation behöver vi därför såväl ny kunskap som ett rationellt förhållningssätt till osäkerhet och risk.

Trots osäkerheter i klimatscenarier och brister i kunskapen om skogens respons på klimatförändringar så kan man ändå förutsäga några sannolika huvuddrag av effekterna på den svenska skogen vid ett framtida varmare klimat. En ökad potential för biomassaproduktion kan förväntas, liksom ökade möjligheter att använda nya arter i skogsbruket. Samtidigt ökar sannolikt risken för vissa typer av skador.

Grundtanken bakom forskningsprogrammet är att måluppfyllelsen inom skogsbruket kan ökas genom att ta hänsyn till kunskap om klimatförändringen och dess osäkerheter.

Vi föreslår ett program som består av tre moduler som är orienterade kring tre områden:

Modul 1 SKOGSBRUK har som mål att:

- Upprätta ett ramverk för osäkerhet och risk i skogsbruket.
- Upprätta beslutskartor som systematiskt beskriver konsekvenserna av skogliga beslut, såväl enskilda som serier av beslut.
- Ta fram beslutsstödjande information för skogliga beslutsfattare som innefattar hänsyn till ett osäkert framtida klimat.
- Utveckla scenarier för framtidens skogsskötsel och markanvändning.

Modul 2 SKOGEN har som mål att:

- Utveckla modeller för samband mellan klimatförändringar och skogens produktion av biomassa.
- Ta fram sannolikheter för förändrade skaderisker till följd av troliga framtida klimatscenarier genom att ta fram samband mellan förändringar i olika klimatvariabler och enskilda biotiska och abiotiska skadefaktorer.
- Möjliggöra att kunskap som tas fram ska kunna användas i rådgivning och olika typer av beslutsstöd för skogsägare.

Modul 3 KLIMATET har som mål att:

- Öka grundläggande förståelse om det regionala klimatsystemets kopplingar till skogen.
- Skapa nya verktyg, mer omfattande klimatdata och användbara klimatscenarier för de övriga delprogrammen.

För att vara framgångsrik i de mål som ställts upp krävs emellertid ett utvecklat tvärvetenskapligt arbetssätt med en väl utvecklad integration mellan och inom de olika modulerna. De olika modulerna är ömsesidigt

beroende av varandra för att kunna uppnå både de delmål som respektive modul har och det övergripande målet med forskningsprogrammet.

Bakgrund

Föreliggande underlag för ett forskningsprogram har sitt ursprung i ett initiativ från Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens skogsavdelning. Avdelningen identifierade *klimatet och skogen* som ett angeläget forskningsområde av stor framtida betydelse för svenskt skogsbruk. Under 2002 tillskapade skogsavdelningen en kommitté med samma namn. Till kommittémedlemmar utsågs Johan Bergh, SLU, Christer Björkman, SLU, Hillevi Eriksson, Skogsstyrelsen, Sune Linder, SLU, Kaj Rosén, Skogforsk (ordf.), Markku Rummukainen, SMHI, Johan Sonesson, Skogforsk (sekr.), Jan Stenlid, SLU och från och med hösten 2003 Kristina Blennow, SLU.

Kommitténs arbete avgränsades till följande uppgifter:

- Sammanställa studier som visar vilka kalamiteter i skogen som olika möjliga klimatutvecklingar kan ge upphov till.
- Stimulera till tvärvetenskaplig forskning som kan öka kunskaperna om klimatförändringars biotiska effekter på skogen.
- Redovisa relevanta studier över den sannolika klimatutvecklingen i Norden.
- Utifrån riskscenarier i kontakt med skogsbruket diskutera eventuellt behov av ändrad inriktning och planering i skogsbruket.

Kommittén har haft ett större antal planeringsmöten och genomfört en workshop där skogsbruksföreträdare, forskningsfinansiärer och forskare inbjöds.

Den första och tredje punkten ovan har genomförts och presenteras i form av en litteraturstudie, se nedan. Föreliggande forsk-

ningsprogram är resultatet av den andra punkten. Tanken är att forskningsprogrammet i hög grad ska utarbetas och genomföras i nära kontakt med skogsbrukets företrädare och andra avnämare. Därmed uppfylls önskemålen i den fjärde punkten.

Kommittén inbjöd i december 2004 ett trettiotal forskare inom ett brett spektra av forskningsområden till en tvådagars workshop. Under workshopen inleddes arbetet med att formulera syften, mål och metoder för programmet, deltagarna i workshopen har sedan gruppvis skrivit programtext till de olika delarna som sedan har sammanställts till detta dokument.

Motiv för ett forskningsprogram

Att klimatet förändras påverkar svenskt skogsbruk. Skogen har i sig en direkt inverkan på klimatet samtidigt som skogsbruket kan behöva anpassas till de nya förhållandena. Osäkerhet om kommande klimatförhållanden sätter brukandet av skogen i ett nytt läge som vi inte har någon tidigare erfarenhet av. För att stödja beslutsfattande i denna nya situation behöver vi därför såväl ny kunskap som ett rationellt förhållningssätt till osäkerhet och risk.

Behovet av ny kunskap för att skapa en bättre förståelse av hur skogsbruket kommer att påverkas i ljuset av olika klimatscenarier belyses av den litteraturstudie som gjordes inom ramen för KSLA-kommittén. Syftet med litteraturstudien var att sammanfatta relevant litteratur inom området, att genom synas av befintlig kunskap dra slutsatser om sannolika effekter på skogsproduktion och skador samt att identifiera behov av forskning och utveckling.

Studien har påvisat omfattande kunskapsluckor inom området. Scenarier för framtida klimatutveckling är behäftade med betydande

osäkerhet och de förväntade effekterna på skogen blir således ännu mer osäkra.

Trots osäkerheten kan man ändå förutsäga några sannolika huvuddrag av effekterna på den svenska skogen vid ett framtida varmare klimat. En ökad potential för biomasproduktion kan förväntas, liksom ökade möjligheter att använda nya arter i skogsbruket. Samtidigt ökar sannolikt risken för vissa typer av skador.

Syntesen av litteraturen identifierar ett behov av utökad kunskap om samspelet mellan klimat, skog och skogsbruk. Tre huvudsakliga problem med hittills genomförda studier har identifierats:

- I de studier som redovisats har man ofta studerat endast en eller i några fall två olika klimatfaktorerers effekt på träd eller andra organismer. Integrerade studier där man studerat effekter av många klimatvariabler samtidigt samt samspelet mellan dessa saknas helt.

- Studierna refererar oftast till det mest aktuella klimatscenarioet vid tiden för studiens genomförande. De förväntade klimatförändringar som man relaterar sina resultat till varierar därför avsevärt mellan olika studier beroende på när och var de är utförda.

- De studier som redovisats är utförda som jämförelser mellan nuvarande klimat och ett statiskt framtida klimat. I verkligheten kommer klimatet att ändras långsamt och kontinuerligt. Det finns ett stort behov av studier som belyser effekterna av en successivt fortskridande klimatförändring.

Framtida studier med syfte att öka förståelsen för klimatförändringars effekter på skogen måste ta dessa problem i beaktande. För att möjliggöra detta krävs studier inom många forskningsområden och, framförallt, ett brett och tvärvetenskapligt angreppssätt.

Även om forskarna idag är överens om riktningen i framtida klimatförändringar, så

är amplituder, tidsmässiga och rumsliga fördelningar osäkra. Detta pekar på vikten av att i ett forskningsprogram om klimatet och skogen inkludera forskning om risk och osäkerhet och hur vi hanterar risk.

Trots osäkerheterna menar majoriteten av svenska privata skogsägare att klimatet förändras i en omfattning som gör att skogen påverkas nämnvärt, enligt en enkätundersökning genomförd år 2004. Av de skogsägare som tror på framtida klimatförändringar tror majoriteten att den privata skogsbruksekonomiska situationen kommer att påverkas negativt av dessa förändringar. Samtidigt uppger endast 19 procent av alla som svarat på enkäten att man anpassat sitt skogsbruk. Att det finns en så stor skillnad mellan andelen som tror på en klimatförändring och andelen som anpassat sitt skogsbruk därefter har flera orsaker, främst att osäkerheterna är stora och att man inte vet hur man ska göra för att anpassa sitt brukande. Det är därför mycket relevant med ett forskningsprogram som syftar till att underlätta skogligt beslutsfattande i dagens situation, där den framtida utvecklingen av klimatet är osäker.

Mot bakgrund av skogsbrukets stora betydelse som naturresurs och industriell bas, så finner vi att ett tvärvetenskapligt forskningsprogram, med syfte att ge beslutsstöd i en situation då det svenska skogsbruket står inför en framtid med såväl ökade hot som nya möjligheter, bör vara angeläget och har hög prioritet.

Mål

Att inom ramen för ett skogligt orienterat, tvärvetenskapligt forskningsprogram ta fram beslutsstöd för beslutsfattare avseende anpassning av skogsproduktionen till ett osäkert framtida klimat.

Utgångspunkt

Grundtanken bakom forskningsprogrammet är att måluppfyllelsen inom skogsbruket kan ökas genom att ta hänsyn till kunskap om klimatförändringen och dess osäkerheter.

Forskningsprogrammets struktur

I figur 1 ges en sammanfattande bild av hur systemet skog-klimat-skötsel påverkas av klimatförändringar och anpassning av skogsskötsel. Forskningsprogrammet är upplagt med denna struktur som bas.

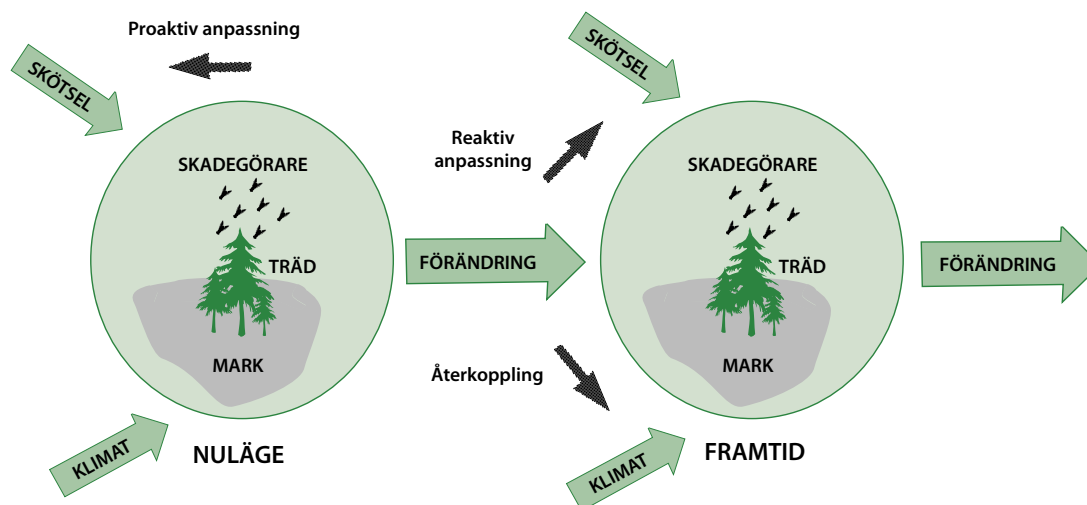
I denna struktur kan tre huvudområden identifieras:

1. Skogen är den del av systemet som vi primärt är intresserade av att studera - hur den förändras, framförallt med avseende på virkesproduktion, trädslag och skador. För att förbättra våra prognoser för förändringar behövs en fördjupad systemförståelse, fram-

förallt avseende samspelet mellan mark, träd och skadegörare samt hur detta påverkas av klimat och skogsskötsel.

2. Klimatet påverkar i högsta grad skogens tillväxt och hälsa. Regionala klimatscenarier har utvecklats men förändringar i skogslandskapet ger också återkoppling till klimatet främst genom förändringar på lokal nivå, till exempel av vind, frost och humiditet. En utökad förståelse av detta samspel och förbättrade lokalt anpassade klimatscenarier är nödvändigt för att bättre förutsäga förändringar i skogens tillstånd.

3. Skogsbruk är människans skötsel och nyttjande av skogen som påverkar skogens tillstånd och utveckling i allra högsta grad, inom de ramar som klimatet ger. I ett föränderligt klimat kan anpassad skogsskötsel vara ett effektivt verktyg för att motverka skador och tillvarata en ökad produktionspotential. Hur skogarna sköts är summan av många skogs-

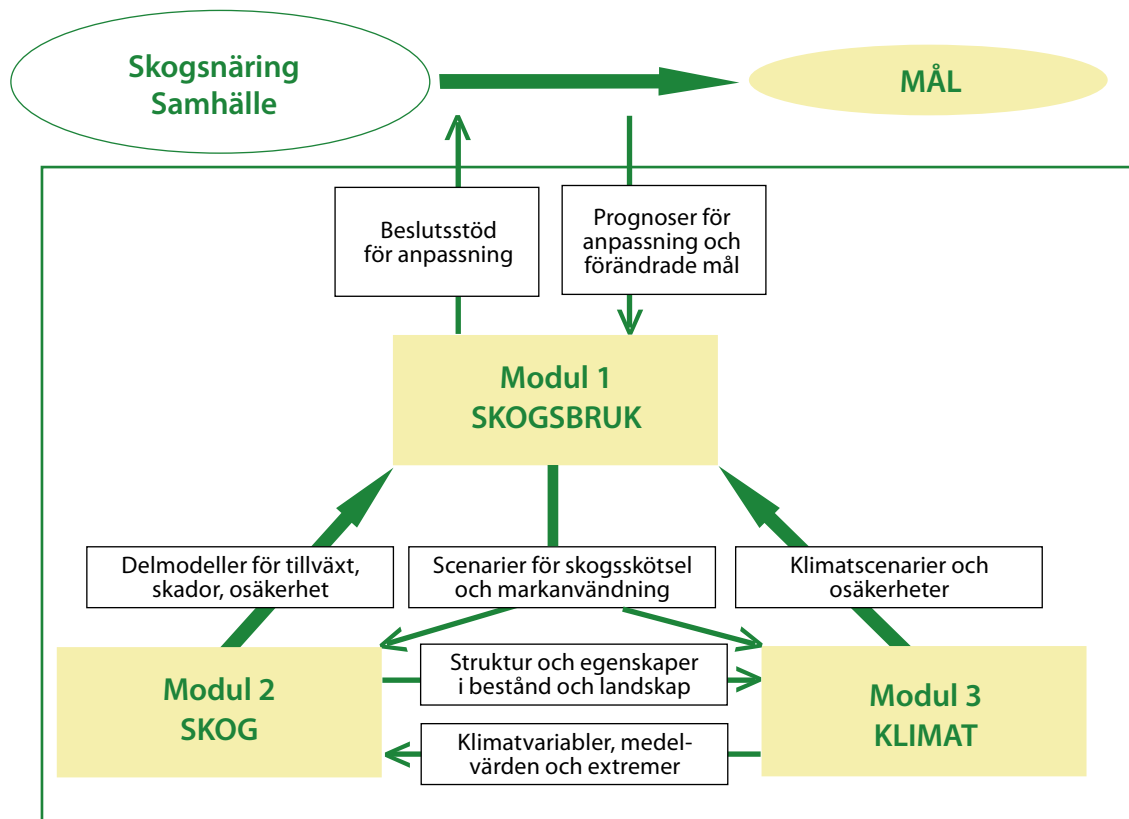


Figur 1. Sammanfattande beskrivning av systemet skog-klimat-skötsel.

ägares beslut, vilka grundas på egna kunskaper, erfarenheter och förväntningar. Hur dessa beslutsfattare uppfattar risker med förväntad eller konstaterad klimatpåverkan är av högsta betydelse för hur de kommer att anpassa sin skogsskötsel. Utökad kunskap om skogsägares agerande under risk samt utveckling av beslutsstöd för skogsägare är av högsta vikt.

Programmet består av tre moduler som är

orienterade kring ovanstående tre områden. För att vara framgångsrik i de mål som ställts upp krävs emellertid ett utvecklat tvärvetenskapligt arbetssätt med en väl utvecklad integration mellan och inom de olika modulerna. De olika modulerna är ömsesidigt beroende av varandra för att kunna uppnå både de delmål som respektive modul har och det övergripande målet med forskningsprogrammet.



Figur 2. Övergripande struktur i forskningsprogrammet *Klimatet och skogen*. De tre gula rektanglarna representerar de tre modulerna och pilarna mellan dem representerar leveranser av modeller, kunskap och data.

Modul 1 SKOGSBRUK

KRISTINA BLENNOW, JOHAN BERGH, TOMAS LÄMÅS, URBAN NILSSON, JOHANNES PERSSON & OLA SALLNÄS

Inledning

Kunskapsbehov

Behovet av ny kunskap i anslutning till klimatförändringen är enormt. Det behövs ny kunskap om hur

- klimatet kan komma att utvecklas.
- skogsekosystemet kan komma att utvecklas.
- dessa system interagerar.

Detta kunskapsuppbyggande är högst angeläget att påbörja men kommer att ta tid. Många beslut inom skogsbruket måste fattas redan idag utan tillgång till forskningsresultaten. Man tvingas alltså redan nu förhålla sig till ett osäkert klimat. Därför, och för att det trots allt alltid kommer att finnas osäkerhet inför framtiden, vill vi stödja besluten genom att utveckla ett rationellt förhållningssätt till osäkerhet och risk. För att snabbt kunna ta fram praktiskt användbar kunskap vill vi i hög grad utgå från skogliga beslutssituationer när vi väljer vilka problemställningar vi ska hantera inom programmet. Framtagandet av ny kunskap skapar i sig ett problem för riskkommunikation. Kunskapsklyftan i förhållande till mottagaren ökar. Att överbrygga den klyftan är en av de viktigaste faktorerna för att lyckas förändra mottagarens kunskapsläge, och därigenom dennes beteende.

Kommunikation

För att forskningsprogrammet ska kunna nå

sitt mål och framtaget beslutsstöd verkligen ska komma att användas måste beslutsfattarna och deras representanter involveras i programmet på ett tidigt stadium så att deras kunskap tas tillvara och deras behov tillgodoses. Beslutsfattarna återfinns på olika nivåer, från privatskogsägarnivån till den nationella skogspolitiska nivån. För att underlätta kommunikationen behövs ett för praktiker och forskare gemensamt ramverk för osäkerhet och risk så att relevanta aspekter kan formuleras och behandlas i programmet. Ett sådant ramverk för osäkerhet och risk bör diskuteras och arbetas fram gemensamt i möten mellan forskare och beslutsfattare på olika nivåer och deras representanter. Dessa möten bör initialt ske i mindre grupper vars resultat arbetas samman till ett gemensamt ramverk. Förutom att underlätta kommunikationen inom programmet och underlätta aktiv hantering av osäkerhet och risk, bör detta ramverk få genomslag på hur beslutsstödet som tas fram inom programmet utformas.

Genom kommunikation mellan avnämare och forskare ska också särskilt angelägna forskningsinsatser identifieras.

Beslutsstödjande information

Målet för forskningsprogrammet är att underlätta för beslutsfattare att nå sina uppställda mål för skogsproduktion i enlighet med sina värderingar. Eftersom beslutsfattarna utgör en varierad grupp med olika målsättningar och preferenser ska den beslutsstödjande informa-

tionen anpassas till olika målgruppers behov. Med skogsproduktion avses produktion av virke och biobränsle. De stora osäkerheterna inför framtiden påkallar att den beslutsstödande informationen tas fram genom en metodik som medger stor flexibilitet.

Handlingsalternativ

En viktig uppgift blir att identifiera nya och redan kända möjligheter i olika skogliga besluts-situationer och se hur dessa kompletterar eller förändrar de handlingsalternativ som beslutsfattaren överväger idag. Handlingsalternativen kan återfinnas på flera olika nivåer; som alternativ inför en specifik åtgärd, som alternativ av skötselprogram, eller som alternativa förhållningsstrategier.

Beprövade handlingsalternativ för hög virkesproduktion finns beskrivna. Dessa behöver dock förutsättningslöst utvärderas utifrån att klimatet kan komma att förändras samtidigt som den nya situationen gör det angeläget att söka efter nya möjligheter som ger fler och mer tillfredsställande handlingsalternativ. När det gäller biobränsleproduktion har intresset relativt nyligen aktualiserats av arbetet med att minska användningen av fossila bränslen och att täcka det bortfall av energiproduktion denna minskning medför. Här finns alltså inte i samma grad beprövade handlingsalternativ att utgå ifrån. Gemensamt för både virkes- och biobränsleproduktionsmålen är dock att arbetet fokuseras till särskilt klimatkänsliga handlingsalternativ. Valet av handlingsalternativ bör dessutom kontinuerligt revideras allteftersom ny information blir tillgänglig. Att välja bort möjliga handlingsalternativ är i sig ett risktagande varför alla avgränsningar bör motiveras. Utifrån de identifierade handlingsalternativen tas ett antal program och strategier fram som illustrerar spännvidden i ett antal valda målvariabler.

Målvariabler

De valda handlingsalternativen utvärderas utifrån ett antal målvariabler. Målvariablerna bör åtminstone omfatta följande:

- Uthållig skogsproduktion (virke och biobränsle)
- Osäkerhet i beräknad skogsproduktion
- Typer av osäkerhet
- Handlingsutrymme
- Inverkan på andra mål

Uthållig skogsproduktion

Denna målvariabel avser både uthållighet genom att undvika skador men också att långsiktigt kunna utnyttja den ökade produktionspotential som ett framtida klimat kan medföra. Utfallet av virke och biobränsle över tiden behöver beskrivas för de olika identifierade handlingsalternativen. Utfallen behöver troligen beskrivas i flera olika enheter för att väl illustrera olika aspekter på utfallet. Beräkningar behöver göras över tiden på åtminstone fastighets- eller landskapsnivå för att fånga dynamiken i systemet. Att det inte räcker med att göra beräkningar på enskilda träd eller bestånd kan illustreras av följande exempel. Vindskador påverkar skogsproduktionen. Stora träd utgör större vindfång än små träd. Stora träd löper därför större risk för vindfällning. Vid ett förändrat klimat förväntas snarast vindklimatet bli blåsigare vilket skulle öka risken för vindfällning. Samtidigt förväntas en förändring av andra klimatvariabler leda till snabbare trädutväxt vilket i sin tur sannolikt skulle föranleda tidigareläggning av avverkningstidpunkten. Därmed skulle träden befinna sig en vindkänslig fas under kortare period. Vilken effekt ett förändrat klimat har på den aggregerade risken för vindfällning beror på vilken effekt som kommer att dominera, de starkare vindarna eller den förkortade period träden befinner sig i en vindkänslig fas. Denna bedömning kan inte

göras genom beräkningar på enskilda träd eller enskilda bestånd utan kräver beräkningar på landskapsnivå. Ytterligare anledningar till att skogsproduktionen behöver beräknas på landskapsnivå är att rumsliga interaktioner påverkar utfallet. Exempelvis påverkar den ordning bestånd slutavverkas i risken för vindfällning för kvarvarande bestånd.

Osäkerhet i beräknad skogsproduktion

Beslutsfattarens värderingar påverkar beslutsfattandet. En del beslutsfattare är till exempel i en given situation beredda att ta risker medan andra mera ogärna gör det. Det är därför centralt att för varje handlingsalternativ visa på de osäkerheter som den beräknade skogsproduktionen är behäftad med och som kan ge upphov till risker. Antag att den förväntade skogsproduktionen för handlingsalternativ A beräknas till 100 och för handlingsalternativ B till 80. På basis av denna information ter sig alternativ A bäst. Men om i stället den beräknade förväntade skogsproduktionen för A ligger inom intervallet 70 till 130 medan för alternativ B den ligger inom intervallet 75 till 85 så styr beslutsfattarens värderingar valet. En del beslutsfattare väljer det mera riskfyllda handlingsalternativet A i förhoppning om ett utfall nära 130, medan andra tar det säkra före det osäkra och väljer handlingsalternativ B. För att tillmötesgå behov hos beslutsfattare med olika preferens för risktagande bör osäkerheterna skattas och beskrivas. När över tiden risken gör sig gällande är också värdefullt att belysa eftersom en beslutsfattare kan ha olika preferenser vad gäller risktagande över tiden.

Typer av osäkerhet

Information om osäkerhet underlättar för en beslutsfattare att anpassa sitt skogsbruk efter den risk han eller hon är beredd att ta. Osäkerhet i beräknad skogsproduktion kan vara av två typer

som det är värdefullt att separera. I det ena fallet kan osäkerheten minskas genom att vi lär oss mer. Vi kan exempelvis förvänta oss att kunna minska osäkerheten i produktionsberäkningar genom att vi lär oss mer om hur klimatvariabler inverkar på skogsproduktionen. Programmet behöver därför leverera skattningar av kunskapsosäkerheten i det beräknade utfallet. I det andra fallet handlar det om genuin osäkerhet som inte kan påverkas av att vi lär oss mer. Ta exemplet torka. Vid torka kan skogsproduktionen påverkas. Vi kan inte påverka sannolikheten för torka genom att lära oss mera om torka. Risken för torka får vi lära oss leva med. Vi kan däremot göra mer eller mindre välgrundade bedömningar av sannolikheten för torka, nu och i framtiden. Forskningsprogrammet bör därför ta fram välgrundade uppskattningar av genuin osäkerhet samt tillhandahålla information om hur olika åtgärder påverkar sannolikheten för produktionsnedsättning till följd av genuint osäkra händelser. Att på detta sätt separera kunskapsosäkerhet från genuin osäkerhet ger beslutsfattaren underlag inför valet mellan att anpassa sina åtgärder nu eller vänta på att beslutsunderlaget ska förbättras.

Handlingsutrymme

Osäkerhet kring framtida värderingar och mål samt osäkerhet kring vilka risker som kommer att identifieras i framtiden gör det önskvärt att söka upprätthålla stort handlingsutrymme, att inte måla in sig i ett hörn. Ett stort handlingsutrymme görs möjligt för beslutsfattaren genom att skogsbrukssystemet karakteriseras av resiliens, det vill säga att systemet har förmåga att absorbera störningar och att reorganisera. Detta ger handlingsutrymme inte bara i förhållande till produktionsmålet men också i förhållande till andra mål som inte explicit hanteras inom programmet. Ett stort handlingsutrymme karakteriseras av ett stort antal handlingsalter-

nativ i varje beslutssituation. Beslutsfattaren ska ges möjlighet att balansera ett stort handlingsutrymme mot hög uppfyllelse av produktionsmålet. Antalet handlingsalternativ kommer att användas som ett mått på handlingsutrymmet. Handlingsutrymmet påverkas också av tidsavståndet mellan beslutssituationerna. Exempelvis skulle valet av ett trädslag med kort omloppstid bereda fler chanser till anpassning allteftersom man ser hur klimatet utvecklar sig jämfört med att välja ett trädslag med längre omloppstid.

Inverkan på andra mål

Variationsrikedomen är stor, inte minst med avseende på beslutsfattarens värdering av målsättningen produktion i förhållande till andra målsättningar inom skogsbruket, som ju trots projektets produktionsfokus inte helt kan bortses från. Varje handlingsalternativ behöver därför utvärderas gentemot andra målsättningar inom skogsbruket.

Mål

För att uppnå programmets övergripande mål har följande mål för modul 1 formulerats:

- Att upprätta ett ramverk för osäkerhet och risk i skogsbruket.
- Att upprätta beslutskartor som systematiskt beskriver konsekvenserna av skogliga beslut, såväl enskilda som serier av beslut.
- Att ta fram beslutsstödande information för skogliga beslutsfattare som innefattar hänsyn till ett osäkert framtida klimat.
- Att utveckla scenarier för framtidens skogsskötsel och markanvändning.

Projekt och metoder

Ramverk för osäkerhet och risk

För att underlätta kommunikationen och för att

stödja den aktiva riskhanteringen i det praktiska skogsbruket behövs ett ramverk för osäkerhet och risk. Genom detta kan relevanta aspekter på osäkerhet och risk formuleras och behandlas i programmet. Ett gemensamt ramverk för osäkerhet och risk ska diskuteras och arbetas fram i möten mellan forskare och skogsägare/skogsägarrepresentanter. Dessa möten bör initialt ske i mindre grupper vars resultat arbetas samman till ett gemensamt ramverk. Förutom att underlätta kommunikationen inom programmet och underlätta aktiv hantering av osäkerhet och risk, bör detta ramverk få genomslag på hur beslutsstödet som tas fram inom programmet utformas.

Beslutskartor

Eftersom forskningsprogrammet syftar till att ta fram beslutsstödande information bör arbetet ta sin utgångspunkt i de skogliga beslutssituationer som ska stödjas. Tillsammans med praktiker ska därför *beslutskartor* upprättas. En beslutskarta innehåller beslutssituationer (noder). För varje beslutssituation identifieras de handlingsalternativ som står till buds. Här har programmet i uppgift att presentera såväl kända som nya alternativ. Ett exempel på beslutssituation utgörs av förnyringssituationen. Här står man inför flera sorters ställningstaganden som inverkar i olika hög grad och under olika lång tid på beståndets och dess omgivnings fortsatta utveckling, och därmed på handlingsutrymmet. När det gäller valet av trädslag utgör då de olika trädslagen som står till buds olika handlingsalternativ. Ett antal relevanta trädslag väljes ut för vidare analys samtidigt som begränsningar i antalet analyserade alternativ motiveras. Ett annat ställningstagande i förnyringssituationen gäller att det för varje trädslag finns handlingsalternativ vad gäller exempelvis val av förnyringstyp, exempelvis naturlig förnyring eller plantering. Inom planteringsalternativet finns ytterligare val mellan olika förband etc.

Härutöver finns också planeringsmässiga handlingsalternativ. Särskilt klimat känsliga alternativ identifieras för vidare analys samtidigt som alla avgränsningar motiveras.

Beslutsstödjande information

Målet för programmet är beslutsstödjande information. Informationen tas fram med beslutskartorna som huvudsaklig bas men även med andra komponenter som levereras från övriga moduler och projekt. Ramverket för osäkerhet och risk integreras och tillämpas i de olika beslutssituationerna. Informationen som tas fram anpassas för skogliga beslutsfattare på olika nivåer.

Analyser av ett förändrat klimats inverkan på skogsproduktionen

För att säkerställa en uthållig produktion görs analyser av skogens utveckling och av utfallet av produkter. En form av analyser är serieanalyser genom simulering där framtida produktion och skogstillstånd är en konsekvens av åtgärder (skogsvård och avverkningar) som åsätts. Vanligen används empiriska modeller för att beskriva trädsiktets utveckling, det vill säga modeller som baseras på trädens historiska tillväxter. Det är viktigt att konsekvenser av genuina osäkerheter, såsom brand- och vindskador, tas hänsyn till vilket hittills normalt inte gjorts. Den empiriska ansatsens giltighet i prognos-sammanhang baseras också på att framtida miljöfaktorer är lika som under den tid underlaget för modellerna härrör ifrån. Givet ett förändrat framtida klimat måste andra ansatser användas. Processbaserade modeller baseras på miljöfaktorer som temperatur, solinstrålning, vatten- och näringstillgång. Dessa ger bra beskrivningar av samband mellan orsak och verkan, det vill säga de är bra förklarande modeller. En möjlighet är att kombinera de empiriska och processbaserade modellerna (ibland kallade hybridmodeller). En



Det är viktigt att det tas hänsyn till konsekvenser av genuina osäkerheter, såsom brand- och vindskador i analyser av skogens utveckling.

relativ förändring av produktionen beräknas vid ett förändrat klimat med processbaserade modeller och de empiriska modellerna korrigeras därefter i motsvarande grad. Detta görs genom att kunskap och delmodeller som modul 2 och 3 levereras integreras i befintliga modellsystem, framförallt de som utvecklas inom forskningsprogrammet *Heureka*. Ett nära samarbete mellan *Heureka* och *Klimatet och skogen* är därför av högsta vikt.

Osäkerhet i beräknad skogsproduktion

Prognoser över skogens produktion innefattar givetvis en viss osäkerhet – oavsett om ett förändrat klimat beaktas eller ej. Faktorer som leder till felaktigheter kommer in i bilden både vid framställning av prognosmodeller (tillväxtmodeller) och vid tillämpning av dem. Vid framställning av modeller rör det sig till exempel om att vissa inverkaner över huvud taget inte kan beskrivas i modellerna eller av att de av olika anledningar inte tas med. Dataunderlaget som används för modellframtagningen innehåller också felaktigheter (mätfel och så vidare) vilket gör att osäkerhet byggs in i modellerna. Vid tillämpning av modellerna kommer sampling- och mätfel i underlaget för

prognosen att leda till osäkerhet. Givet viss basal kunskap om olika varianskomponenter så finns möjlighet att uttala sig om kvaliteten (noggrannheten) i tillväxtprognoser genom till exempel Monte Carlo-simulering baserat på förväntad fördelning av olika fel eller genom analytiska ansatser där modeller formuleras för att skatta varianser. Det är önskvärt att metodik utvecklas inom det här området för att göra det möjligt att koppla en kvalitetsdeklaration till prognoser över skogens produktion, det vill säga hur säker en prognos är.

Från modul 2, Skogen, behövs framförlall modeller som beskriver skogens tillväxt under ett förändrat klimat samt dos/responsrelationer för de klimatkänsliga handlingsalternativen. Med hjälp av dessa ska effekten på skogsproduktion och skador av en viss kvantifierad klimatinverkan kunna beskrivas kvantitativt.

Från modul 3, Klimatet, behövs scenarier för framtida klimat och väder – doser representerade för lämpliga rumsliga och temporala skalor.

Med hjälp av dos/responsrelationerna och klimatsceniarierna kan sannolikheten för specificerade konsekvenser av genuint osäkra händelser beräknas.

Hantering av ett osäkert klimat i planeringsprocesser

Planering handlar om att hitta alternativ som ger hög uppfyllelse av de mål som ställs för en verksamhet. Det framtida klimatet är en osäkerhetsfaktor som bör beaktas vid långsiktig planering av skogsbruket. Liksom virkespriser kan ett förändrat klimat observeras i varje framtida period och observationerna bör ligga till grund för hur man agerar, det vill säga ett adaptivt beteende. Planeringsprocessen – och därmed resultatet av en sådan process – bör vara anpassad till ett sådant synsätt. Hur man agerar den närmaste tiden lämnar då utrymme att

handla utifrån vad som inträffar i framtiden.

I skogsbruket kan målet formuleras till exempel som en hög och varaktig ekonomisk avkastning av virkesproduktionen. Ofta ingår i målformuleringen en mängd restriktioner, till exempel ett krav på ett jämnt flöde av avverkat virke över tiden. Komplexa målformuleringar tillsammans med en mycket stor mängd handlingsalternativ gör att optimerande metoder används för att söka handlingsalternativ som ger hög måluppfyllelse. Ofta används en deterministisk ansats vid vilken framtida faktorer, som virkespriser och miljöfaktorer, anses kända. Bristen med en dylik ansats är uppenbar i skogliga sammanhang. Om genuina osäkerheter beaktas i planeringsprocessen så väljs andra handlingsalternativ och en högre måluppfyllelse erhålls i jämförelse med en deterministisk ansats. Dylika planeringsproblem har tidigare lösts med till exempelvis stokastisk dynamisk programmering. En begränsning hos denna och likartade metoder är att de inte är lämpade för stora och komplexa problem. Nya metoder, som till exempel simuleringsbaserad optimering som "reinforcement learning" är här ett alternativ. "Reinforcement learning" har också använts för att lösa planering av virkesproduktionen under antagande av en stokastisk (slumpmässig) utveckling av klimatet.

Scenarier för framtidens nyttjande av skogen
Dessa scenarier ska i första hand utgöra underlag för scenarier och modeller som produceras inom modul 2 och 3 men de utgör också ett viktigt delresultat av hela forskningsprogrammet. Scenarierna skapas genom enkäter och intervjuer med skogliga beslutsfattare på olika nivåer och genom analys av scenarier för omvärldsfaktorer såsom till exempel befolkningsutveckling, teknisk utveckling, energiförsörjning och virkesanvändning.

Modul 2 SKOGEN

CHRISTER BJÖRKMAN, PIA BARKLUND, JOHAN BERGH, ROGER BERGSTRÖM & LENNART HANSSON

Utgångspunkt

De förväntade klimatförändringarna medför direkta effekter på skogens potentiella produktion av biomassa, både avseende mängd och kvalitet. De medför även ökade risker för biotiska och abiotiska skador på skog, som i sin tur också ger effekter på produktionen.

Mål

Modul 2 i forskningsprogrammet ska:

- Utveckla modeller för samband mellan klimatförändringar och skogens produktion av biomassa.
- Ta fram sannolikheter för förändrade skaderisker till följd av olika troliga framtida klimatscenarier genom att ta fram samband mellan förändringar i olika klimatvariabler och enskilda biotiska och abiotiska skadefaktorer.
- Möjliggöra att kunskap som tas fram ska kunna användas i rådgivning och olika typer av beslutsstöd för skogsägare.

Kunskapsläge och forskningsbehov

Modul 2 är uppdelad i fyra projektområden:

- Modellering av trädens tillväxt och skador
- Svamp- och väderleksskador
- Insekter
- Vilt och smågnagare

Kunskapsläge, forskningsbehov och kopplingar till andra delar av forskningsprogrammet beskrivs nedan för varje projektområde.

Övergripande metod

En tillväxtmodell för skog på hektarnivå är central inom denna del av forskningsprogrammet. Till tillväxtmodellen kommer att antal delmodeller att kopplas. De kan delas in i biotiska och abiotiska. De biotiska indelas i svampar, insekter och vilt. Varje delmodell kommer i sin tur att vara uppdelad i submodeller. Klimatet kommer att påverka skogens tillväxt dels direkt och dels indirekt via övriga abiotiska och de biotiska faktorerna.

Trädslag

Det är lämpligt att arbetet i programmet begränsas till ett bestämt urval av trädslag. Viktiga skäl är att det blir lättare att jämföra resultat mellan delprojekt samt att det är nödvändigt att skaffa sig tillräckligt djupa kunskaper för att kunna ta fram ett tillförlitligt beslutsstöd för skogliga beslutsfattare. I ett senare skede kan det vara lämpligt att inbegripa andra trädslag.

En möjlighet är att koncentrera arbetet till gran, tall, björk och poppel och möjligen ett ädelt lövträd, till exempel ask.

Det finns fördelar med att arbeta med just dessa trädslag. I granens och tallens fall beror det på att de i dagsläget helt dominerar i svenskt skogsbruk. Björken har redan börjat bli ett

intressant trädslag för skogsbruket och är ett trädslag där det finns gott om grundläggande kunskaper, inte minst vad det gäller skadegörare. Björken är också väl spridd i landet. Att ha med ett ädelt trädslag är naturligt då dessa har stor ekonomisk potential. Ett varmare klimat kommer att göra det möjligt att odla ädla lövträd längre norrut än idag.

Att arbeta med poppel (eller möjligen asp) har många fördelar. De är snabbväxande och man kan därmed få fram snabba resultat, de är enkla att klonas och man kan därmed enkelt designa genetiskt kontrollerade försök, det finns kompletta genkartor för dessa arter, kunskaperna om deras genetik, fysiologi, tillväxt och skadegörare är omfattande. Idag finns redan ett genom av *Populus* sekvenserat vilket ger en utmärkt möjlighet att koppla grundforskningen till tillämpningen.

Modellering av trädens tillväxt och skador

Bakgrund

Ett förändrat klimat innebär att produktionsförutsättningarna ändras för våra trädslag. I vårt kärva vinterklimat skulle en ökad temperatur och koldioxidhalt sannolikt öka produktion för de flesta trädslag i Sverige. Detta förutsatt att nederbörden inte minskar drastiskt eller att skador på träden ökar. En ökad temperatur på vår och höst leder till en förlängd växtsäsong och att mer av solljuset kan utnyttjas till fotosyntes- och biomassaproduktion. Detta kan ge en stor relativ produktionsökning, särskilt ju längre norrut man kommer.

Knoppsprickning och skottskjutning på våren hos barr- och lövträd påverkas av lufttemperaturen och dagslängden. Hos barrträden är den i högre utsträckning korrelerad till en temperatursumma, medan lövsprickningen hos vissa av våra lövträd är en kombination av tempe-

ratursumma och dagslängd. Tall och gran behåller merparten av barren under vintern medan lövträden bygger upp hela bladmassan varje år. Detta innebär att tidigare skottskjutning och lövsprickning har en större betydelse för produktionen hos lövträden jämfört med barrträden. Å andra sidan ger en alltför tidig skottskjutning ökad risk för frostsador.

Tidpunkten för knoppsättning styrs för de flesta trädslag av nattlängden. Även i ett varmare klimat kommer därför knoppsättningen att initieras ungefär vid samma tidpunkt som idag. Därmed torde risken för skador av tidiga höstfroster minska. Dessutom ökar möjligheten för trädslag och genetiskt material med sen knoppsättning att utnyttja den längre tillväxtsäsongen på hösten.

Trädens anpassning till klimatet uppvisar en betydande genetisk variation inom arternas utbredningsområde. Framförallt gäller detta tidpunkten för skottskjutning och knoppsättning, men även andra klimatrelaterade anpassningsegenskaper som exempelvis torkstresstolerans. För våra vanligaste trädarter är denna variation i huvudsak klinal och följer de naturliga klimatgradienterna. Den genetiska variationen gör att vi kan observera stora skillnader i både tillväxt och skador mellan olika genetiska material både på individ- och populationsnivå inom art.

Idag är vattentillgången god i mellersta och norra Sverige och vatten begränsar inte tillväxten på marker med sandig-moig morän och finare marktstruktur. Däremot kan vatten vara begränsande på sandmarker. En kraftigt ökad nederbörd i norra Sverige skulle eventuellt kunna leda till försumpning av vissa ståndorter och produktionsminskning. Minskad nederbörd och ökad temperatur skulle kunna minska produktion på framförallt marker med grövre marktstruktur. Minskad nederbörd i södra Sverige skulle med stor sannolikhet leda till

produktionsminskningar och stress vilket i extrema fall leder till försämrad vitalitet och död. Trädslag med stort vattenbehov som de flesta lövträd och gran skulle sannolikt missgynnas i större utsträckning än tall och ek. Ökad nederbörd i södra Sverige skulle på de flesta ståndorter leda till ökad produktion. Nederbördens fördelning över året och ifall vatten lagras i ett varaktigt snötäcke under vintern och våren har också en stor betydelse för vattentillgången under tillväxtperioden.

I kortvariga laboratorie- och fältförsök leder en ökning av koldioxidhalten till kraftigt ökad fotosynteshastighet (hundraprocentig ökning). Efter en tid verkar dock träden anpassa sig till den nya koldioxidhalten och fotosynteshastigheten går ner till nästan samma nivå (ökning 10-15 procent) som vid normal koldioxidhalt (365 ppm). Resultat från olika FACE-experiment (Free Air Carbon Enrichment) har dock visat på en högre ökning av fotosyntesen, där ökningen var 10-35 procent för 80 procent av försöken. En ökad koldioxidhalt har i många fall effekt på barren/bladens klyvöppningar och trädens vattenhushållning. Effekten av koldioxid på produktionen förväntas därför bli större i områden där vattentillgången är begränsande.

En höjd lufttemperatur leder också till en höjning av markens temperatur, vilket ökar den biologiska aktiviteten i marken och påskyndar nedbrytningen av organiska material. En högre nedbrytningshastighet gör att mer växtnäring frigörs i marken. Eftersom växtnäring, främst tillgången på tillgängligt kväve, i stor utsträckning begränsar tillväxten i våra svenska skogar, skulle en ökad växtnäringstillgång öka produktionen. Effekten är sannolikt större i norra jämfört med södra Sverige, dels för att näringsutbudet idag generellt är betydligt lägre i norra Sverige jämfört med södra. Skillnaderna beror sannolikt på det rådande temperaturklimatet efter sista istiden och att

den isfria perioden har varit längre i södra Sverige. Koldioxidhalten och marktemperaturen kan också förväntas påverka aktiviteten hos mykorrhizan genom vilken den övervägande näringsupptagningen hos träden sker i våra skogsmarker.

Fotosynteshastigheten ökar upp till 15-20°C hos våra svenska trädslag och håller sig därefter relativt konstant. Respirationen är däremot temperaturberoende och ökar kraftigt med höjd temperatur. En temperaturhöjning på några grader innebär att kostnaden för att upprätthålla den levande biomassans funktioner kommer att öka och att mer koldioxid avges från träden. Mängden koldioxid som avges vid respiration är vanligtvis betydligt lägre än vad som tas upp vid fotosyntes. Vid temperaturer över 35°C kan dock respirationen överstiga fotosyntesen. En anpassning av fotosyntesen och respirationens temperaturberoende har i försök visat sig kunnat ske.

Extrema vädersituationer (torka, temperatur, vind, med mera) har nästan alltid en negativ inverkan på produktionen och kan sätta ner trädets vitalitet och gynna vissa svamp- och insektsangrepp. Invintring på hösten och dess upphörande på våren är processer som delvis styrs av temperaturen. Dessa processer kan störas och försämra trädens motståndskraft och vitalitet. En högre tillväxt kan gynna andra svampar som rotticka och rostsvampar och vissa insekter. Vilken anpassningsförmåga har olika trädslag och vilka trädslag kommer att trivas i ett förändrat klimat?

Ett förändrat klimat med bland annat ökad temperatur och förhöjd koldioxidhalt kommer att ha en inverkan på en mängd olika växtfysiologiska processer som i sin tur inverkar på produktionen och/eller vitaliteten. Processerna påverkar varandra i hög utsträckning med olika återkopplingsmekanismer och det går inte att addera produktionseffekterna

för varje enskild process. För att kunna göra beräkningar av produktionseffekter, använder vi numera processbaserade tillväxtmodeller där återkopplingsmekanismer är inbyggda för att få en realistisk respons på produktionen.

Forskningsbehov

Det finns flera olika modeller som lämpar sig för simuleringar på regional- och beståndsnivå. En del av dessa modeller är även anpassade för boreala och kalltempererade klimat. Vad som i regel saknas och som bör inkorporeras i framtida modeller är bland annat (i) skogsskötsel för olika trädslag, (ii) näringsdynamik och återkopplingsmekanismer mellan produktionen och marknäring, (iii) vattendynamik och återkopplingsmekanismer mellan produktionen och markvatten, (iv) parameterisering för olika markfuktighetsklasser, allokeringsmönster och trädslag, (v) markorganismernas aktivitet och påverkan på näringstillgång och näringsupptag, (vi) effekter av förflyttning av provenienser och användning av förädlad skogsodlingsmaterial.

Förutom modellutveckling/programmering är validering av modellerna mycket viktigt. Resultat kan användas från exempelvis växthus-effektsrelaterade experiment i Sverige men även från våra nordiska grannländer, övriga Europa, Kanada och USA. Detta är ett viktigt led för att rätta till avvikelser och förbättra parameteriseringen av modellerna.

Därefter behöver man använda de nya utvecklade och validerade modellerna för olika trädslag (gran, tall, björk och ek) med Rossby centres senaste scenarier. Även känslighetsanalyser för olika klimatvariabler och parametrar är viktiga och värdefulla för tolkning av resultaten och för att påvisa eventuella kritiska nivåer för träden.

Insektsangrepp, svampangrepp, stormfällningar och extrema vädersituationer kan på både

kort och lång sikt få en betydande inverkan på produktionen. Det är viktigt att införliva dessa effekter på produktionen i modellerna genom integration med andra projekt. Resultat rörande hur produktionen förändras kan användas för att uppskatta hur till exempel rotröteangrepp utvecklas eller hur risken för stormfällningar påverkas av olika scenarier med mera.

Man bör studera vad som händer med olika trädslags anpassningsförmåga vid ökad temperatur, koldioxidhalt och extrema vädersituationer och hur detta kan påverka konkurrensen mellan olika trädslag och framtida trädslagsval. Ett framtida mildare vinterklimat kan påverka invintringsprocesser och trädens hårdighet. Om inte det genetiska materialet anpassas framöver kan man exempelvis få frostsador som kan påverka produktionen för olika trädslag.

Resultat från processbaserade modeller bör länkas över till empiriska framskrivningsmodeller för att kunna anpassa effekter av ändrade skötselmetoder, ökade/minskade risker för stormfällning genom ökad produktion, riskbedömning och beslutsunderlag vid eventuellt byte av trädslag.

Tillväxtmodellering utgör delvis en länk mellan de olika modulerna inom programmet, genom att effekter på produktionen av svamp- och insektsangrepp, ökade viltstammar, stormfällningar och extrema vädersituationer byggs in i modellen i ett skede då de andra projekten (skadegörare) inom programmet kan leverera användbara resultat. Ändrade tillväxtförhållanden i skogen kommer i sin tur påverka betingelserna för svamp-, vilt- och insektspopulationer. Resultat från tillväxtmodellering kan införlivas i empiriska framskrivningsmodeller som finns utvecklade inom Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Effekter av ändrad skogsskötsel och risken för olika kalamiteter kan på så sätt kvantifieras och skrivas fram.

Kopplingar till andra delar av programmet

Ett kontinuerligt och nära samarbete med modul 3 Klimatet är en förutsättning eftersom klimatet fungerar som drivvariabler i de processbaserade produktionsmodellerna. Utdata från modul 2 Skogen i form av förändrad produktion, upptag av koldioxid och vattenförbrukning kan återkoppla till klimatmodellerna där bland annat vattenflöde till atmosfären och vattendrag kan påverkas.

Inom modul 2 Skogen har man för avsikt att utveckla kopplingen mellan träden och marken eftersom tillgängligheten av växtnärsämnen är en nyckelprocess för tillväxten i boreala och kalltempererade skogs ekosystem. En ökad förståelse för hur olika markprocesser påverkas av ökad temperatur och förändrat nederbörds klimat och dess inverkan på trädets tillväxt är mycket angeläget för utveckling av modellerna. För att få med dessa återkopplingsmekanismer ska ett nära samarbete ske mellan markforskare och produktionsforskare inom modul 2. Trädets produktion inverkar på markprocesserna där förändrade produktionsförutsättningar för trädet påverkar behovet av vatten och näring. Trädet påverkar även marken genom förändrad produktion av förna (det vill säga döda, men ännu ej nerbrutna organismer) och allokering av fotosyntesprodukter till rötterna. Kvävehalten i barr och blad kan förväntas öka vid ökad mineralisering i marken, vilket i sin tur kan påverka svamporganismer och blad/barrätande insekter och vilt.

Skadegörare kan påverka produktionen hos träd genom att minska blad/barrmassan (exempelvis blad/barrätande insekter och blad/skottangripande svampar), orsaka mekaniska skador (till exempel betning), försämra vatten transporten i trädet (till exempel röta) eller på annat sätt inverka på trädets vitalitet. Även förändringar i markvegetation kan påverka

produktionsutveckling i plant- och ungdomsstadiet. Eftersom trädets produktion och mängden barr/bladmassa är nära sammanlänkade kan förändringar i produktionen inverka på födotillgången av blad/barr för olika insekter. Detta kan påverka skadebilden. En ökad tillväxt kommer också att förkorta omloppstiderna, vilket kan påverka olika skadegörare. Ökad barr/bladmängd leder antagligen till att bestånd i södra såväl som norra Sverige sluts snabbare och att de i norra Sverige blir mer slutna jämfört med idag. Detta kan inverka på bland annat markvegetationen och beståndslevande organismer. Korrelation mellan tillväxthastighet och rotrotutveckling i infekterade granbestånd har också påvisats tidigare. Förändrad tillväxt påverkar skadegörare och ökade skadeangrepp minskar tillväxten. För att få en realistisk helhetsbild måste nära samarbete ske mellan ”skadegörare” och skogsproduktion och skogsskötselstrategier.

Ett förändrat klimat kommer att innebära förändrade produktionsförutsättningar men även ökade risker. Riskerna för stormfällning inverkar på tillväxten eftersom träd tas direkt ur beståndsproduktionen och hanteras relativt enkelt genom justeringar i de processbaserade produktionsmodellerna. Förändrad produktion kan dessutom ha en inverkan på risken för stormfällning eftersom höjd- och diametertillväxten och mängden blad/barrmassa påverkas och dessutom rotrotfrekvensen, som också har inverkan på stormkänsligheten. Risken för frostsador i plant- och ungskog är ett annat område som kan ha en negativ inverkan på produktionen och överlevnaden. Risken för andra extrema vädersituationer som kan verka stressande för träden kan minska produktionen då de inträffar. Ändrade produktionsförutsättningar och förkortade omloppstider hos olika trädslag

kommer att inverka på skogsskötseln och vilka beslut och risker man kommer att ta framöver. Kopplingen mellan produktionsförändringar, skogsskötselmetoder och riskhantering säkerställs genom samarbete mellan Skogsproduktion och skogsskötselstrategier och Risker och riskhantering.

Svamp- och väderleksskador

Bakgrund

Bland mikroorganismerna orsakar patogena (sjukdomsalstrande) svampar de flesta biotiska sjukdomarna på våra skogsträd och därför är det dessa som berörs i avsnittet. En biotisk sjukdom är uttrycket för interaktioner mellan värdträd och patogen, och den är väderleksberoende. Vissa extrema väderleksbetingelser kan orsaka abiotiska skador/sjukdomar. För både biotiska och abiotiska skador har trädets fysiologiska beredskap att motstå eventuella skador betydelse för skadeutvecklingen. En abiotisk skada kan också predisponera trädets för en biotisk skada. Det passar därför att beröra även abiotiskt väderleksbetingade sjukdomar här.

De patogena svamparnas levnadssätt är av stor betydelse för bedömning av deras potentiella betydelse i samband med klimatförändringar. Biotrofa patogener, som rost- och mjöldaggsvampar, får sin näring från värdträdets levande celler och de gynnas av förhållanden som gör att värdträden växer bra. Nekrotrofer, som de flesta patogenerna är, dödar värdträdets celler och tar upp näring från de döda cellerna. Dessa patogener gynnas av om värdträdet utsätts för stress. Flera sådana patogener växer endofytiskt i trädets (latent infektion) och i samband med till exempel en lättare frostskada kan svampsjukdomen blomma upp.

Synen på skogspatologin har med hjälp av nya molekylära verktyg under de senaste decennierna förändrats mycket. Det har blivit alltmer tydligt att det som tidigare betraktades som enskilda svamparter med mycket variabla egenskaper i själva verket består av komplex av närstående arter. Rottickan som på 1970-talet uppfattades som en art är i själva verket ett artkomplex med 7-8 arter med distinkta och delvis överlappande geografiska utbredningar och med olika värdspecificitet. Det har också visat sig att hybridiseringar mellan närstående arter av patogener kan ge upphov till nya angreppsmönster. Risker med sådana korsningar är uppenbara och frekvensen av hybridiseringar med nya egenskaper förväntas öka om diversiteten i svamppopulationer ökar. Odling av främmande provenienser eller nya trädarter kan påskynda en sådan utveckling. Ett varmare klimat kan också ha betydelse för ökande diversitet genom att mera värmekrävande patogener kan spridas till Sverige och arter i södra Sverige kan spridas vidare norrut.

Den generella fenologin (periodiska utvecklingen) i tempererade och boreala barrskogar är relativt väl känd. Tillväxtavslutningen på hösten bestäms främst av fotoperioden, men sommartorka och låg temperatur på hösten kan påverka, dock i mindre grad. Härdigheten byggs upp under hösten, gynnas av låga nattemperaturer och är högst under vintern. Varma perioder under vintern kan delvis avhärda trädets. Avhärningen under våren sker när temperaturen höjs. Olika delar av trädets avhärdas olika fort.

De väntade klimatförändringarna antas betyda högre årsmedeltemperatur och särskilt vintrarna kan bli avsevärt varmare. Tillväxtsäsongen antas också bli några veckor längre både på våren och på hösten. En sådan klimatförändring kommer att påverka trädets härdighet och resistens mot sjukdomar

och därmed kommer risken för angrepp av mikroorganismer, att i de flesta fall öka, men i flera fall även att minska.

En klimatförändring påverkar patogenen, trädet och omgivningen där de samspelar. Många av våra patogena svampar är ett- eller fleråriga och ett svampangrepps olika faser från sporspridning till fullbordat angrepp har olika typer av väderleksoptima, till stor del ännu otillräckligt kända. Patogenen och trädet interagerar således under hela året. Exempelvis resulterar *Gremmeniella*-svampens angrepp i starka skador vid temperaturer nära 0°C men knappast någon skadeutveckling alls vid 20°C.

Abiotiska väderleksskador kommer att påverkas av klimatförändringar. Vissa frostsador kommer förmodligen att minska, men andra kan också tänkas öka. Frostsador av olika typ uppkommer under olika årstider: *Frostsador på rotsystem* kan uppkomma vid plötslig kyla och barmark troligast tidigt på vintersäsongen. *Frostsprickor i ved* uppkommer vid starkt fluktuerande temperaturer under vintern, då splintveden i jämförelse med innerbark och kambium är mer frostkänslig. *Barkfrost på grenar och stammar* uppkommer då värme, som lett till avhärdning, följs av stark frost under senvinter och vår. Stammens innerbark och kambium dödas fläckvis särskilt vid solexponering. Om avhärdning på grund av en lång varm period följs av en ovanligt kall period kan skador uppkomma utan att stammarna är exponerade. Så uppkom sannolikt barknekros och kådflöde på gran 1991. *Värfrostsador på nya årsskott* kan uppkomma under försommaren. *Sommarfrost* förekommer på frostlänta marker och öppen särskilt torr mark, där värmeutstrålningen kan bli betydande under klara kalla nätter även under sommaren. *Höstfrostsador* uppstår till följd av dålig skottmognad under sommaren efter en lång, mild och våt höst, då vävnaderna får dålig frostresistens.

Översvämning i samband med snösmältning, mycket regn eller dämning kan medföra syrebrist som leder till tr added till exempel kan det gälla gran på lermarker. Risken för syrebrist är störst på mark med otillräcklig dränering. Under syrebrist är rotbildning och rottillväxt starkt begränsad. Dessutom dör stora delar av rotsystemen, särskilt de fysiologiskt aktiva rötterna. Döende rötter invaderas lätt av svampar, som tolererar låg syrehalt och som gynnas av trädets nedsatta funktion. Svampangreppet kan leda till att träden dör också efter det att syrebristen upphört. Rotdöden leder till att proportionen rot/krona förändras kraftigt och träden blir känsliga för efterföljande torra också på grund av att rotsystemen blir ytliga. Sådana rotsystem är också känsliga för frost.

Vinterhärdigheten är av central betydelse, idag för att det förekommer väderleksextremer då och då och framåt för förmodade klimatförändringar; idag för våra allt snabbare växande träd och framåt för eventuella introducerade arter; idag relevant för nuvarande skogsbruksmetoder och på sikt också för särskilt snabbväxande produktionsskogar. Graden av härdighet har betydelse för frost- och svampskador, men förståelsen av vilka processer som ökar eller minskar härdigheten är otillräcklig. Ännu mindre är känt om härdighetens betydelse för resistens mot svampskador.

Forskningsbehov

Det kan tyckas motsägelsefullt, men för att öka beredskapen för kommande varmare klimat bör härdighet under vinterhalvåret studeras.

Varmare väder påverkar på olika vis de mikroorganismer, främst patogena svampar, som angriper våra skogsträd både direkt och indirekt:

1. Svampar vars spridning gynnas av mildt väder kan förutsättas att öka i betydelse i det kli-

matförändringsscenario som anges. Ett exempel är rottickan, *Heterobasidion annosum* vars fruktkroppar - fleråriga tickor - sprider sporer framförallt under sommaren. Sporspridningen kan dock fortsätta även under milda vintrar.

2. Svampar som missgynnas av varmare väder kan förutsättas minska. Denna grupp innehåller till exempel snöskyttessvampen som kräver snötäcke under tillräckligt lång tid för att ett angrepp ska hinna utvecklas.

3. Svampar som angriper under trädets vintervila kan medföra antingen ökade eller minskade angrepp beroende på trädets hårdighet under vintervilan. Varm vinter trycks hittills ha underlättat angrepp, medan torr sommar kan motverka angrepp av exempelvis *Gremmeniella abietina* på tall. Tallskytte är ytterligare ett exempel på en patogen som utvecklas under trädets viloperiod.

4. Svampar som gynnas av att värdträdet utsätts för stress, till exempel extremt torr väder kan bli allvarligare. Honungsskivlingar, *Armillaria spp.* representerar denna svamptyp. Exempel på skadetyper är grantorka och ekdöd.

5. Svampar som kräver varmare förhållanden än vi för närvarande har i Sverige kan komma att sprida sig upp från den europeiska kontinenten in i Skandinavien. Den gruppen inkluderar exempelvis *Sphaeropsis sapinea* som orsakar skottdöd på tall och vissa *Phytophthora*-arter som orsakar rotröta.

Effekten av en klimatförändring på organismerna under punkt 1, 2 och 5 kan i viss mån förutsägas. Forskning bör därför främst inriktas för att öka förståelsen av väderleksförhållanden och träd/svampinteraktioner av de typer som tas upp under punkt 3 och 4. Tre särskilt viktiga delområden där det bör bedrivas forskning i framtiden kan identifieras:

Angrepp under vintervila Flera skott- och barrsjukdomar som *Gremmeniella abietina* och

tallskytte attackerar under trädets vintervila. *Gremmeniella abietina* utnyttjar trädets minskade förmåga till motstånd under vintervilan. Förutom *Gremmeniella abietina*, kan även andra perenna kräftsårssjukdomar, både på barr- och lövträd, utvecklas under liknande omständigheter. Samspelet mellan vintervila i trädets vävnader och patogeners utveckling är därmed av stort intresse för att förutsäga sjukdomsutbrott i framtiden. Hur påverkas vinterhårdigheten av olika väderlekstyper? Vilken betydelse har förändringar i vinterhårdighet för resistensen för angrepp?

Stressepisoders betydelse för "decline" och svampangrepp Samspel som bör studeras är: stressepisoder och utveckling av sjukdomssymptom på träden. Särskilt viktigt är det att öka kunskapen om hur patogena svampar triggas under stressförhållanden. Det är också viktigt att studera hur exempelvis sommartorka eller andra väderleksförhållanden påverkar den kommande vinterhårdigheten.

Väderleksrelaterade abiotiska skador. Väderleksextremer behöver kartläggas bättre. Vi tycker oss ha stöd för olika scenarion: Varm senhöst följt av mycket kall januari; Djup tjäle (lite snö); Vinter med växlande kalla och varma perioder; Vårbakslag i april-maj; lokal försommar- och sommarfrost; Vinteruttorkning/ tillfälligt för högt grundvatten (speciellt gran); vår- och försommartorka; långvarig sommartorka.

När det gäller mer aktiva åtgärder kan man konstatera att ett varmare klimat kan ge förändringar i förutsättningarna för invintring och därmed förändringar i mottaglighet för svampangrepp. Sättet att möta dessa förändringar ligger troligen i att utnyttja ett plantmaterial som är bättre anpassat till de nya förutsättningarna. De naturliga urvalsprocesserna kommer troligen inte att hinna med en accelererande klimatförändring.

Kopplingar till andra delar av programmet

Barr/blad och skott/stamangripare

- Bladförlust påverkar trädens tillväxt temporärt, men skottangrepp till exempel av *Gremmeniella* ger långvarigare tillväxtförluster.
- Träden har förmåga att kompensera en viss bladförlust. Denna förmåga varierar med trädart, genotyp och miljö.
- Längden på växtsäsongen.
- Trädval och skötsel.
- Direkta och indirekta (t ex fenologi) effekter av klimat på såväl skadegörande svamp som på värdträdet.
- Risken för angrepp av sekundära skadegörare, insekter, påverkas av klimat, trädart, genotyp och miljö samt interaktioner.

Målet är att kunna bedöma risken för angrepp som leder till tr addedöd samt uppskatta i vad mån ett angrepp påverkar trädens tillväxt och risk för sekundära angrepp.

Hur detta varierar med trädart, genotyp etc. blir också viktigt att förstå.

Kopplingen till skötsel är viktig – trädart, genotyp och beståndsstruktur.

Plantskadegörare

- Tallskytte, snöskytte och *Gremmeniella* på plantor utvecklas under vinterhalvåret och angreppet påverkas av klimatet.
- Skötsel kan påverka direkt och indirekt via interaktioner med klimatet.
- Viktiga aspekter är:
Plantkvalitet, planttyper, hygges-typer, planteringsmetod och föryngringsmetod.

Målet är att kunna bedöma risken för angrepp som leder till plantdöd. Hur detta varierar med trädart, genotyp etc. är också viktigt att förstå.

Rotröta

- Ökad tid för sporspridning ökar risken vid avverkning året runt.
- Risk för stormfällning.
- Risk för nedsatt vitalitet via till exempel torka.
- Koppling till riskanalys och skötsel.
- Åldersstrukturen på skogen.
- Spridning och rumslig fördelning kan bero på typ av landskap.
- Koppling till insektsangrepp.

Insekter

Bakgrund

Insekter kan förväntas vara särskilt känsliga för ett ändrat klimat då de är växelvarma. Deras utvecklingstid är, till exempel, beroende av temperatursumman. Det är därför relativt enkelt att göra vissa prediktioner när det gäller insekter och exempelvis ökad temperatur: Många arter sprider sig norrut. Generationstiden kan förkortas, vilket för flera arter kan betyda att de får flera generationer per år. Däremot är det betydligt vanskeligare att förutsäga hur risken för massförekomst bland skadliga insekter kommer att påverkas. En viktig anledning är att det inte bara är de potentiellt skadliga insekterna som påverkas utan även deras värdväxter och naturliga fiender. Kunskap om samspelet mellan skadegörare, deras värdväxter och fiender är därför nödvändig för att kunna göra bättre förutsägelser.

Det är också svårt att förutsäga vilka arter som kommer att orsaka problem, särskilt om arter sprider sig och etablerar sig i nya områden. Två exempel får illustrera detta problem: År 1985 upptäckte man på Balkan-halvön en liten fjärilsart som angrep hästkastanj. Arten var okänd för vetenskapen. År 1986 fick den namnet *Cameraria obridella* (Lepidoptera;

Gracillaridae). Den spred sig snabbt norrut i Europa. I många städer har hästkastanjer stått helt brunätna under sommaren. År 2003 uppträdde arten rikligt i norra Tyskland. Samma år siktades de första individerna i södra Sverige. I vilken utsträckning denna arts snabba förökning och rörelse norrut beror på klimatologiska faktorer är svårt att uttala sig om. Arter av tallprocessionsspinnare är skadegörare på tall men utgör framförallt ett hälsoproblem för människor eftersom här från larverna ger upphov till svår klåda och allvarlig allergi. I norra Italien har en art av tallprocessionsspinnare bevisligen ökat sin utbredning såväl norrut som till högre altituder till följd av ökad temperatur. En annan art har under de senaste åren uppträtt i stora antal i norra Europa, ett exempel är södra Gotland. Där har rädslan för de hälsovådliga håren gjort att huspriserna sjunkit.

Exemplet med hästkastanjemalen ger en fingervisning om att det kan vara av vikt att låta händelser på kontinenten tjäna som signaler på vad vi kan vänta oss i Sverige. I dagsläget har man på kontinenten allvarliga problem med flera barrätande arter som barrskogsnunnan och vanliga tallstekeln. Dessa och närstående arter finns i Sverige men räknas inte till de allvarligaste skadegörare även om de sporadiskt kan förekomma i stora antal. De senaste exemplen är röda tallstekeln i Dalsland och tallmätaren på Hökensås. Att följa händelseutvecklingen på kontinenten kan ge en förvarning om problem som kan dyka upp i Sverige. Men för att kunna dra nytta av erfarenheter från kontinenten bör man komplettera dessa med kontrollerade gradientstudier.

Ett förändrat klimat påverkar inte bara de potentiellt skadliga insekterna utan även deras värdväxter och naturliga fiender. Växter svarar sannolikt med en ändrad fenologi och ökad tillväxt till följd av en förlängd växtsäsong i ett

varmare klimat. Båda dessa responser kommer att påverka växtätande insekter. Växternas möjlighet att försvara sig kan också komma att påverkas. Den slutliga nettoeffekten på växtätande insekter och deras fiender är svårt att förutsäga då olika typer av växtförsvar kommer att påverkas på olika sätt. Man bör därför studera system som representerar olika typer av ekologiska samspel.

En förutsättning för att verkligen förstå hur insekters dynamik är kopplad till väder och klimat är att man studerar förändringar i täthet över längre tid. Med hjälp av väderdata kan man med sådana tidsserier utvärdera olika väderfaktors betydelse. Redan idag finns det tidsserier från ett antal system med potentiella skogsskadegörare. Några exempel är fjällbjörkmätaren, bladbaggar på salix (till exempel *Phratora vulgatissima* och *Lochmea caprea*) samt granbarkborren. För de flesta av dessa finns även viss kunskap om vilka mekanismer som huvudsakligen styr arternas dynamik. Kopplingen till väder behöver däremot utredas vidare. Man bör i möjligaste mån utnyttja just sådana arter i framtida forskning. Om man väljer att även studera arter där det saknas tidsserier bör man påbörja insamling av data så snart som möjligt. För vissa arter, till exempel en gallbildande granbarrlus, finns möjlighet att samla in data om variation i täthet bakåt i tiden då lössens galler finns kvar på träden under lång tid.

För flera av de svåraste skadeinsekterna är tillgången på resurser mycket viktigt. Snytbaggen och granbarkborren är två tydliga exempel. För snytbaggen är det tillgången på yngelmateriäl, i form av färsk gran- och tallstubbar, som i stor utsträckning styr tätheten kommande år och

Stormfällad skog gynnar granbarkborren som förökar sig i nyligen fallna granar.



därmed risken för angrepp på barrträdplanter. Förekomst av hyggen i tid och rum är därmed viktigt för hur höga snytbaggetätheter som kan byggas upp. Stormfällningar är ett annat sätt på vilket stora mängder yngelmaterial för snytbagge kan uppkomma. En ytterligare följd av stormfällningar är att det lokalt ansamlas stora mängder liggande virke. Detta gynnar i sin tur granbarkborren, som förökar sig i nyligen fallna granar. Om höga tätheter byggs upp i stormfällt granvirke kan sedan dessa djur ge sig på och döda stående träd.

Forskningsbehov

Mot ovanstående bakgrund kan man identifiera ett antal aspekter som bör beaktas när man väljer vägar för framtida forskning om hur klimatförändringar påverkar skogsinsekter och deras dynamik. Den kanske väsentligaste aspekten är att inte bara insekterna utan även deras värdväxter och naturliga fiender påverkas. Vad som blir effekten av ett förändrat klimat för de mer eller mindre komplexa samspelet mellan insekter, värdväxter och fiender är mycket svårt att förutsäga. En utmaning blir att identifiera de viktigaste samspelet och särskilt studera hur dessa påverkas av klimatet. En annan mycket viktig aspekt att beakta är att de processer som styr insekters dynamik, och därmed risken för massförekomst, ofta verkar med en viss fördröjning. En konsekvens av detta är att man måste arbeta långsiktigt. Det innebär att det kan vara särskilt lämpligt att arbeta med system där man har en god uppfattning om vilka nyckelsamspelet är och där man har (eller på ett enkelt sätt kan skaffa) långa tidsserier av data.

En framkomlig väg för att prioritera forskningsresurserna är att inrikta forskningen mot ett antal modellinsekter som är goda representanter för grupper av insekter där det finns arter som redan idag är skadliga eller grupper där man kan förmoda att det kan dyka

upp skadedjur. Man kan i dagsläget omöjligt veta vilka arter som kommer att orsaka de största problemen i framtiden (se exemplet hästkastanjemalen som beskrevs i avsnittet Bakgrund). En möjlig uppdelning är att utifrån levnadssätt identifiera grupper av insekter med liknande biologi och som därmed sannolikt påverkas likartat av klimatförändringar. Här nedan presenteras en grov uppdelning på arter vars dynamik främst styrs av tillgången på yngelmaterial och arter vars dynamik är mer väderberoende. Den senare gruppen kan med fördel delas upp ytterligare.

Granbarkborren och snytbaggen, som idag räknas som de svåraste insektskadegörarna för svenskt skogsbruk, är främst styrda av tillgången på yngelmaterial. Även om snytbagge och granbarkborre är mer beroende av resurstillgång än andra faktorer så kan effekten av klimatförändringar vara värda att studera. För båda arterna är det sannolikt att utvecklingstiden förkortas om klimatet blir varmare. Effekterna av en förkortad generationstid är svåra att förutsäga men bör utredas. För granbarkborren kan ett varmare och torrare klimat leda till att deras värdräd blir stressade och mindre motståndskraftiga. I dagsläget är det ovanligt med angrepp på stående friska träd. En kombination av ökad risk för storm och starkare stress på stående träd skulle kunna leda till ökade angrepp. För båda dessa skadeinsekter gäller som tidigare att man även måste ta hänsyn till och studera hur samspelet med deras naturliga fiender påverkas av ett ändrat klimat. Då de här två arterna representerar en grupp av insekter vars antal till största delen bestäms av tillgången på yngelmaterial kan man med hjälp av skötselmetoder och riktade åtgärder påverka risken för allvarliga angrepp.

För andra potentiellt skadliga insekter, som inte är begränsade av tillgången på yngelmaterial,

är det betydligt svårare att förutse och reducera risken för massförekomster. Till denna grupp hör barr-, blad- och skottätare samt gallbildare. Arter inom dessa grupper kan, av vanligtvis okänd anledning, på relativt kort tid öka dramatiskt i antal och uppnå utbrottstätteter. De försvagade träden dör sällan som en direkt följd av angreppen men de orsakar ofta betydande tillväxtförluster. Sekundärt kan träden angripas av andra skadegörare, till exempel svampar och barkborrar, som ökar risken för trädöd.

De bakomliggande orsakerna till massförekomster bland dessa arter är säkerligen flera men vädret spelar förmodligen en avgörande roll. De mer direkta effekterna av vädret på insekterna har vi idag relativt god kännedom om, men man kan behöva göra kompletterande studier. Effekterna av väder på spelen mellan insekterna, deras värdväxter och naturliga fiender har vi betydligt mindre kunskaper om. Mycket tyder ändå på att det är just effekter på spelen som är avgörande för uppkomsten av utbrott. Anledningen är att flera faktors effekt i kombination kan förstärka varandra.

För att på ett effektivt sätt studera spelen bör man kombinera flera typer av metoder. Med hjälp av tidsserier över förändringar i täthet och väderdata kan man identifiera vilka livsstadier och enskilda väderfaktorer som är viktiga för dynamiken. Utifrån denna kunskap och kännedom om vilka spel som är av betydelse för just dessa livsstadier kan gradientstudier och fältexperiment användas för att testa olika faktors betydelse.

Ett nästa steg blir att utveckla modeller som på ett tillfredsställande vis beskriver insekternas dynamik. Med sådana modeller kan man simulera effekter av väderförändringar på insekternas dynamik. Modellernas förutsägelser kan sedan jämföras med observerad dynamik och användas som underlag för beslut om skötselåtgärder.

Kopplingar till andra delar av programmet

Flera insekter, inte minst barkborrar, har ett intimt samspel med olika svampar. I vissa fall fungerar insekterna som spridare av svamparna, i andra fall är insekterna beroende av svamparnas förekomst för sin överlevnad. Vädret påverkar spridningen och framgången hos såväl svampar som insekter. Här behövs ett nära samarbete mellan mykologer och entomologer.

Den förväntade tillväxtökningen hos träd i ett ändrat klimat kan sannolikt gynna vissa insekter. Detta gäller främst gallbildare och arter som lever i skott. Dessa insekters framgång är ofta direkt kopplad till trädets tillväxt. De möjliga negativa effekterna på träden av ökad insektsframgång kan kompenseras av så kallad kompensatorisk tillväxt. Dessutom kan ökad träd-tillväxt och framgång för insekten ofta innebära en mindre utsatthet för angrepp av naturliga fiender. Nettoeffekten bör utvärderas i samarbete med forskare som studerar träd-tillväxt.

När det gäller indirekta effekter av väder på växternas kvalitet som föda för insekter, till exempel via ändrad allokering till försvar, bör insektsforskare samarbeta såväl med vilt- och svamp- som produktionsforskare.

Som nämnts ovan är ett par av våra, i dagsläget, värsta skadeinsekter - granbarkborren och snytbaggen - särskilt beroende av tillgången på yngelsubstrat. För båda dessa arter är det därför viktigt att beakta risken för stormfällningar och hur skogen sköts. Här finns alltså en stark koppling till forskning rörande risk- och skötselproblematik.

För att effektivt kunna analysera tidsserier av insekters populationsdynamik med vidhängande modellering bör det finnas ett nära samarbete med klimatforskare. Här bör man särskilt uppmärksamma att insekts- och klimatforskare av tradition arbetat på delvis olika rumsliga och tidsmässiga skalor.

Vilt och smågnagare

Bakgrund

Bland viltarterna (här definierade som jaktbara arter) finns det flera vanliga arter som påverkar skogsekosystemet och som dessutom kan orsaka skador på ekonomiskt viktiga trädslag och i övrigt ha oönskade effekter. De väsentligaste arterna ur dessa perspektiv är klövviltet (älg, kronhjort, dovhjort, rådjur, vildsvin) och hararna. De ekonomiskt viktiga trädarter som i första hand påverkas av nämnda viltarter är tall och flera lövträdsarter (till exempel björkarna och vissa sydliga lövträd). Viltarterna rör sig över stora arealer och kommer att påverkas på många olika sätt av de prognosticerade förändringarna i klimat och väder. Många vitt skilda rumsliga skalor måste beaktas, från det enskilda trädet till landskapet och från det enskilda djuret till populationen. Eftersom flera av de nämnda arterna också är bytesdjur för små och stora rovdjur så kommer förändringar i utbredning och tätheter att kunna få kaskadeffekter på rovdjuren. Till detta kommer att ändrat väder kan påverka förhållandena vid jaktens utövning och därigenom förändra möjligheterna till begränsning och reglering av skadegörande vilt.

Genom att klimatförändringar slår samtidigt på olika komponenter i ekosystemet, kommer de aktuella arterna att påverkas både direkt och indirekt. Direkta effekter av klimatförändringar på de väsentliga arternas *utbredning*, torde bli relativt små, medan de indirekta effekterna, åstadkomna genom förändringar av vegetation, skogsskötsel och snö- och tjälförhållanden, kan förmodas bli viktigare. Idag finns ett antal viltarter, som till exempel kronhjort, dovhjort och vildsvin, vilka har sin naturliga nordgräns ungefär vid norrlandsgränsen. Dessutom, anses rådjur leva på marginalen i stora delar av Norrland. Prognosticerade miljöförändringar kommer att medföra ökade utbredningsområden

för nämnda arter, vilket i sin tur bland annat påverkar storskaliga skademönster. Hur snabbt förhållandena ändras i dessa avseenden beror bland annat på djurens spridningshastighet, som i flera fall (till exempel vad gäller älg och rådjur) är snabbare än vad vegetationsförändringarna blir. Kopplat till dessa frågor är också de *vandringsmönster* som framförallt älgen idag uppvisar i Sverige och som påverkar skademönster och älgförvaltningen i stort. Ändrade snöförhållanden och födosituationer (mängd, fördelning) kan komma att påverka rörelsemönster och djurens energibalans.

Olika vädersituationer, förmedlade bl a genom foderkvalitet, påverkar de stora växtätarnas *populationsdynamik* på olika sätt och en sådan påverkan kan avläsas även på kort sikt. På längre sikt kommer konstanta förändringar i till exempel växtsäsongens längd, trädslagsblandning, träds tillväxthastighet och skogens omloppstid att ge annan fodersituation, med konsekvenser för viltets populationsdynamik. Till exempel kan längre växtsäsonger medföra bättre födosituation för flera arter och därmed påverka populationsdynamiken genom ändrade kroppsvikter och reproduktion. Om, som prognosticerat, klimatzonerna flyttas norrut kommer förutsättningarna för flera av växtätarnas prefererade födoarter att förbättras. Detta kan i sin tur orsaka ökande konflikter mellan trädslagsval och de stora växtätarnas betning (på samma sätt som vi idag ser i delar av södra Sverige). Samtidigt kan ökad trädutväxt, uttryckt till exempel som ökad skottstorlek, orsaka förändringar i smaklighet/tillgänglighet hos träden, vilket i sin tur påverkar *betes- och skademönster*. Åldersfördelningen i den framtida skogen är en viktig faktor för vilt-samhällets sammansättning och numerär och flera arter (till exempel älg och rådjur), som kan orsaka skada på skog gynnas av ökande

arealer ungskog. Extrema vädersituationer för växterna, resulterande i omfattande torka eller annan stress, kan också komma att påverka betessituationen, troligen mest till det sämre.

Men viltet, särskilt älg och andra stora växtätare, kan också påverka *träds spridningshastighet*. Detta indikeras bland annat av studier av trädgränsens förflyttning och där älgens bete identifierades som en faktor som påverkade tallens expansion i höjddled. Teorier om att stora växtätare måste blanda sin föda har också gett upphov till förutsägelser om att bete ofta ska ske på sällsynta arter (vilket de kan vara i en spridningsfront).

Smågnagskadorna på skogsplantor är välkända och gäller främst ringbarkning av tall och contorta-tall. Även björkplantor är starkt utsatta. Den svåraste skadegöraren på plantor är åkersorken medan skogssork och skogsmöss kan göra skada genom att konsumera tallfrön. Plantskador förekommer både på hyggen och på skogsplanterad åkermark. På åkermarken kan också vattensorken vara en väsentlig skadegörare genom att gnaga rötter. Nästan alla plantskador sker vintertid och vid gnagarnas toppbestånd. Barkskadorna har varit relativt obetydliga under senare decennier (1980- och 1990-talen) medan de var närmast katastrofala under 1960- och 1970-talen. Vissamerapåtagliga skador har dock noterats under 2000-talet. De mot slutet av 1900-talet minskande skadorna var klart relaterade till lägre toppbestånd i de tre-fyraåriga svängningar i numerär som utmärker nordliga gnagarbestånd. Skador har alltså främst förekommit i Norrland, kanske speciellt på silurområdet i Jämtland, medan Götaland varit nästan helt förskonat från sorkangrepp på plantor.

Vi måste förstå bakgrunden till de stora fleråriga fluktuationerna i antal som utmärker de nordliga gnagarbestånden för att kunna förutsäga och undvika sorkskador. Det har

förekommit en mångfald hypoteser om vilka faktorer som driver fluktuationerna och det finns fortfarande inte någon globalt accepterad mekanism. Nordiska forskare har emellertid, både genom observationer och experiment, funnit stöd i tanken att specialiserade rovdjur, speciellt vesslor och hermeliner kan överkonsumera sina bytesdjur.

De specialiserade rovdjuren ökar samtidigt med gnagarna men de senare visar lägre reproduktion vid hög täthet och kan därför pressas ner i antal av de intensivt reproducerande rovdjuren. I nordliga områden kan dessa specialister, som jagar under snön, dominera bland rovdjuren. I söder är däremot generalister, såsom räven, med en varierad bytesfauna, mer betydelsefulla rovdjur. Gnagarna är vid tunt snötäcke också tillgängliga nästan året runt. Om generalisterna varierar diet mellan olika möjliga bytesarter beroende på tillgång, till exempel mellan smågnagare och harar, så kan de potentiellt hålla bytesdjuren på en relativt stabil nivå. Områden dominerade av specialistrovdjur skulle alltså få en cyklisk dynamik hos gnagarna, områden dominerade av generalister skulle i stället visa likartade gnagarbestånd under olika år. Men det finns också klara tecken på att gnagarna påverkas av sin föda under toppåren i norr, det vill säga när vegetationen betats ner och födokvaliteten blir låg så slår gnagarna över till bland annat en barkdiet och blir skadegörare.

Studier av möjliga väder- och klimatinfluenser på gnagarna har inte kunnat påvisa några klara direkta effekter. Däremot kan vädret indirekt påverka djuren, till exempel via snötäckets skyddande inverkan mot rovdjur och genom ökad dödlighet hos boungar vid hög nederbörd, eftersom många gnagare placeras sina bon i lågliggande områden med tät vegetation. Eventuella effekter av klimatförändringar måste alltså ses i ett biologiskt samhällsperspektiv,

inkluderande bland annat rovdjur och födoväxter.

En klimatförändring ledande till kortare perioder med snö och ett grundare snötäcke bör alltså leda till att de generaliserade rovdjuren, både räv och åtskilliga rovfåglar, får lättare att ta gnagarna. Om det finns alternativa byten för dessa rovdjur så skulle en sådan klimatändring leda till större stabilitet i gnagarbestånden. Men ett varmare klimat skulle också påverka vegetationen. Dels skulle det antagligen bli en tätare fåltskiktsvegetation på hyggena, sannolikt med mer gräs, vilket speciellt skulle gynna åkersorken. Dels skulle vegetationens kvalitet som föda bli sämre i nordliga områden på grund av längre vegetationsperiod – nordlig vegetation har nu högre näringsvärde eftersom fiberhalten inte hinner utvecklas maximalt under den korta sommaren. De senare förhållandena bör leda till att sorkarna snabbare slår över till barkdiet vid födobrist. Ett snöfattigare och varmare klimat kan alltså påverka skaderisken för skogsplanter både positivt och negativt. Konsumtionen av skogsfrön påverkas troligen inte mycket men en på grund av klimatet högre fröproduktion skulle kunna leda till bättre självföryngring trots i genomsnitt något ökade gnagarstammar.

Forskningsbehov

Verksamhet inom viltdelen bör syfta till att klargöra viltets förändrade roll i skogen med förutspådda klimatförändringar. I samarbete med andra projekt görs scenarier i vilka viltets roll kan identifieras. Särskild vikt läggs vid de skadegörande arterna så att de av dem orsakade kvalitativa och kvantitativa förändringarna kan beskrivas. Vad gäller de olika viltarterna så är det från skogs- och skadesynpunkt klimatförändringarnas effekter på hjortdjursarterna, vildsvin och möjligen hare som är viktigast.

Kunskap som blir väsentlig för att förstå de små- och storskaliga skogsskaderisker som följer

med förändrade klimat- och väderförhållanden finns inom följande områden:

- Påverkan av expanderande och krympande utbredning av olika trädarter (med tillhörande vegetationsförändringar) och dess betydelse för:
 - fördelning av viltarter.
 - viltpopulationers tätheter.
- Påverkan av sommarväder på skogens omloppstid samt kvantitet och kvalitet av födan, med betydelse för:
 - viltarters populationsdynamik.
 - betes- och skademönster.
- Påverkan av vintervädret på säsongsvandringar, habitatutnyttjande och födomönster, med betydelse för:
 - djurens fördelning på landskapskala och regional skala.
 - den relativa fördelningen av föda/betning i olika vegetationsskikt.
- Påverkan av stora växtätare på trädarters spridningshastighet.
- Vädrets betydelse för möjligheter till en effektiv jakt och en reglering av skadegörande viltarter.

För att skapa ett bra kunskapsunderlag för att förstå viltets roll för den framtida skogen behövs flera angreppssätt och en användning av både nya data och befintliga data i ny belysning. Med hjälp av befintlig kunskap, till exempel om viltarters habitatkrav, kan någorlunda bra storskaliga förutsägelser göras om hur viltsamhällena kommer att vara sammansatta vid prognosticerade klimatförändringar. Vädrets betydelse för viltets populationsdynamik och för betes- och skademönster kan modelleras med hjälp av befintlig kunskap och nya data genererade inom här skisserade aktiviteter. Mycket tyder på att trädens tillväxthastighet har betydelse för betes- och skademönster och genom att bland annat använda data från modellering av framtida

trädtillväxt kan förändrade mönster och risker vad gäller bete och skador beräknas. Djurens rörelsemönster i förhållande till relevanta vädervariabler, framförallt snö, studeras idag effektivast med GPS-försedda djur. Rådande jaktsystem är anpassade till djurens biologi och till möjligheterna för en effektiv och en etiskt acceptabel jakt. Genom studier av jägares uppträdande och jaktens bedrivande vid olika tänkbara vädersituationer kan dessas påverkan utvärderas. Detta kan göras både genom fältstudier och enkäter.

Vilt delen kopplar tydligt till modelleringen av trädtillväxt genom att modelleringen kan ta fram variabler viktiga för att förstå framtida betes- och skademönster. Samtidigt kan beräkningar av viltorsakade biomassa-förluster hos träd kopplas till tillväxtmodeller och därmed bidra till beräkningar av framtida utfall, ett ämne som vi idag kan väldigt lite om.

För flera moment i viltmodulen blir det också viktigt att koppla till prognosticerade förändringar i skogsskötseln, eftersom den kommer att till betydande del styra de förutsättningar som kommer att finnas för viltet och för skaderisker i en framtid med förändrat klimat.

Det finns begränsad kunskap då det gäller att förstå olika skadegörarens påverkan på varandra och på de skador de orsakar. Här finns utrymme för fruktbart samarbete med de övriga "skadegörarprojekten", både projekten emellan och i en mera sammanhängande modellering.

Den här skisserade kunskapsuppbyggnaden kan bidra till att bättre förstå hur viltet kommer att påverkas av framtida klimatscenarier och vilken viltets roll kan bli i ett skadeperspektiv och för skogsproduktionen. Därigenom kan en beredskap byggas upp och vara till gagn både för skogs- och viltförvaltning.

Förståelse av klimatets effekter på sorkskaderisken förutsätter fortsatta studier över populationsdynamiska faktorer, både de som

bestämmer genomsnitts- och toppbestånd och de som driver flerårsfluktuationerna. De växtätande gnagarna, särskilt åkersorken, bör vara i centrum för studierna men undersökningar bör också företas av näringskvalitetens och rovdjurens betydelse. Sjukdomar kan också spela en viss roll i bestånd som lever under partiell näringsbrist eftersom immunsystemet då försämras. Det finns alltså goda skäl att fortsätta eller förstärka gnagarforskning rörande djurens hela livssystem. Vissa projekt synes emellertid särskilt angelägna:

- Rovdjurens betydelse i en klimatgradient. Vilka rovdjur är betydelsefulla i Skåne, Mellansverige, Norrlands inland och i fjällskogen? Hur påverkar de gnagarna i dessa områden och hur påverkar de varandra genom byteskonkurrens, mellanartsaggression och reproduktionstakt?

- Hur varierar växtfödans kvalitet i en klimatgradient. Mätning av fiber, smältbara kolhydrater och protein hos till exempel krustätel under olika årstider men speciellt under senhöst och vinter.

- Studier av möjlig alternativ föda vid olika kvalitet på stapelfödan. Vid vilka fiber- och smältbarhetsvärden i stapeldieten (ofta krustätel på hyggen) söker åkersorken andra födoslag, till exempel bark från skogsplantor?

Dessa studier bör leda till en förfinad, eventuellt reviderad modell av regleringen (i vid mening) av gnagarpopulationer. I första hand bör den nordiska konceptuella modellen utvecklas och om den håller för fortsatta test så kan en matematisk modell bli fruktbar, inte minst för att förutsäga framtida beståndstorlekar och skaderisker. Klimatfaktorer skulle kunna införas i en sådan modell som drivande eller samspelande variabler. Man bör dock inte satsa på en sådan modell i första skedet utan i stället på kritiska tester av de nuvarande antagandena.

Modul 3 KLIMATET

MARKKU RUMMUKAINEN, LARS BÄRRING, DELIANG CHEN, MIKAELL OTTOSSON-LÖFVENIUS, PATRICK SAMUELSSON & BENJAMIN SMITH

Inledning

Skogen och klimatet är flerfaldigt sammankopplade med varandra. Skogens geografiska utbredning avgränsas av klimatet samtidigt som klimatförhållandena avspeglar närvaron av skog. Skog liksom klimat karakteriseras av ett brett spektrum av skalor i tid och rum. Det tar tid och utrymme för en skog att bli till. Klimatet varierar och förändras över tid och beroende på den rumsliga skalan. Skogen består av en mängd enskilda träd, som reagerar individuellt på rådande miljöförhållanden. Vädret är av mycket stor betydelse för ett träds utveckling. Hur enskilda träd reagerar och agerar beroende av tidssekvenser av väderhändelser, formar den skog som också kan kopplas till vädret över tiden, det vill säga klimatet. Skalproblematiken kräver särskild uppmärksamhet eftersom såväl tidsskalan som rumsskalan är i viss mån olika för de enskilda elementen träd/väder och de sammanfattande begreppen skog/klimat.

De yttre ramarna för skogens förnygring, tillväxt och produktion bestäms i stort av klimatet, särskilt temperatur och nederbörd, men också av förhållandena i marken: marktemperatur och trädens tillgång till vatten och näring under vegetationsperioden. Således är även avdunstning, markfuktighet, tjäle, snöförhållanden, vind, moln, strålning och atmosfärens koldioxidhalt av vikt. Dessa övergripande karakteristika överlagras med enskilda väderhändelser, extremer och sekvenser av läng-

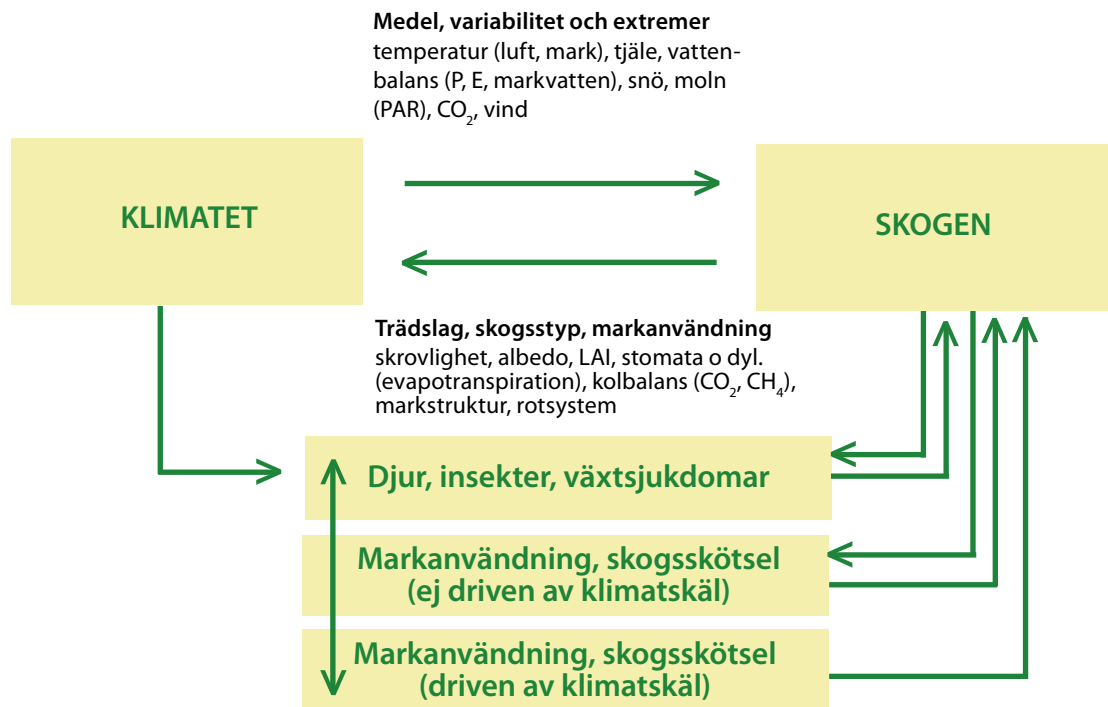
re och kortare perioder av gynnsamma eller ogynnsamma väderförhållanden. Dessa avvikelser spelar en särskild, ibland helt avgörande, roll för träden och plantors överlevnad och tillväxt och påverkar därmed direkt utformningen av skogsbeståndet. Exempelvis kan stora skogsområden uttraderas vid ett enda tillfälle med kraftiga vindar, extremt höga eller låga temperaturer vid ogynnsam tid på året kan allvarligt skada eller döda plantor och unga träd, tillfällen med extrem torra eller mycket nederbörd kan likaså starkt påverka formandet av skogen. Samtidigt är en del extremer och sekvenser av vissa väderförhållanden en förutsättning för att skogen ska växa och förnygras. Exempelvis krävs ett antal år i rad med gynnsamma väderförhållanden under vegetationsperioden för att kottsättning och frömognad ska inträffa i norra Sverige.

Klimatet samspelar alltså med skogen på flera sätt. De rådande klimatförhållandena påverkar enskilda träd och hela bestånd och därmed skogsbruket direkt via klimatbetingade val av trädslag, förnygringsmetod och avverkning, men även indirekt via effekter på de djur, insekter och svampar som påverkar träden, marken och så vidare. Ett ytterligare exempel på kopplingar mellan klimatet och skogsbruket är förekomst av tjäle vid avverkning och transport av virke. Det genomsnittliga klimatet är av vikt, men även klimatets variabilitet, extremvärden och förändring spelar stor roll.

Skogen och skogsbruket i sin tur påverkar klimatet med effekter på ytans skrovlighet (påverkar det ytnära vindklimatet och utbyten av värme och vatten). Blad- och barrytan samt rötterna påverkar interceptionen av regn och snö, avdunstningen, luftfuktigheten, vattenbalansen helt allmänt och det ytnära temperaturklimatet. Växtligheten påverkar också albedot, det vill säga hur stor andel av den inkommande solstrålningen som reflekteras. En del kopplingar mellan klimat och skog/skogsbruk visas i figur 3.

Eftersom skogen/skogsbruket känner av klimatet, blir även frågan om klimatförändringen konkret. Klimatets pågående ändring, som drivs av mänsklig klimatpåverkan i allmänhet och utsläpp av växthusgaser i synner-

het, beräknas fortgå under 2000-talet. Klimatförändringen beräknas bli speciellt stor i det boreala området. Detta innebär att de klimatförhållanden inom vilka det moderna skogsbruket har vuxit fram inte säkert gäller längre fram. Förändringarna beräknas bli både omfattande och snabba inom ett bestånds livscykel. Eftersom ett bestånds känslighet för klimatet ändras med dess ålder, och nya bestånd etableras med tiden, innebär en pågående klimatförändring att planeringsramarna ändras från *statiska* till *dynamiska* för skogsbruket. Beslutsfattarna ställs inför ett läge där beslut om valet av trädslag, skötsel och avverkningen gång på gång måste revideras och kanske tas på nytt. Riskhanteringen påverkas också. I tillägg till skogen som naturresurs och råvara för olika



Figur 3. Kopplingar mellan klimatet och skogen.

ändamål är frågor om kolcykel och kolsänkor relevanta i sammanhanget.

Kunskapsläget om klimatets förändring under 2000-talet baseras på scenarier av mänsklig klimatpåverkan och klimatmodellering både på den globala skalan och regionalt för att komma närmare till de detaljer som är sektoriellt relevanta.

I hittills gjorda studier saknas dels återkopplingen från skogen till klimatet och dels är detaljerna i klimatdata sällan är tillräckliga för effektstudier. Befintliga effektstudier har dessutom inte samlats kring jämförbara utgångspunkter (utsläpps- och klimatscenarier samt tidshorisont) eller de utgår – varierande – från enstaka klimataspekter (till exempel ändringar i medeltemperaturen, men inte ändringar i variationerna, extremvärden eller andra klimataspekter). Detta gör resultat svåra, om ens möjliga, att göra synteser av, vilket försvårar fördjupning av systemförståelsen. I effektstudier, och speciellt när syftet är beslutsstöd, bör scenarier även för skötsel, efterfrågan med mera inkorporeras.

Inom området klimatet och skogen bör klimatmodellering både tillämpas och vidareutvecklas. Tillämpningar behövs för att studier ska kunna göras av de direkta och indirekta effekterna på skogen orsakad av en klimatförändring. Vidareutveckling av samspelen mellan klimatet självt och skogen – hur biosfären/vegetationen påverkar klimatet samt varierar och förändras på grund av klimatförändringen – är en förutsättning för en mer verklighetstrogen beskrivning av klimatet och skogen som ett interaktivt system, och till beslutsstöd om tänkbara åtgärdsstrategier. I varje led från klimatstudier till effektstudier till beslutsstöd måste osäkerheter kunna tas hänsyn till.

Relevanta forskningsfrågor

- Hur ändras mikroklimatet i olika delar av

Sverige när den globala och regionala klimatförändringen framskrider? Hur viktig är återkopplingen till klimatet från ändringar i skogen, och i skogsskötseln? Speciellt energibalansen ovan skog och vattenbalansen är av stort intresse. Hur påverkas dessa vid förändrade snöförhållanden, olika skogsskötselmetoder och förändrad tillväxt (till exempel ökad barr- och biomassa)?

- Hur kan man med skogsskötsel lindra oönskade mikroklimatändringar och/eller dra nytta av eventuella positiva tendenser?

- Hur långsiktiga är sådana tänkbara effekter på tillväxten som ökad koldioxidhalt och snabbare mineralisering av näringsämnen med stigande marktemperaturer?

- Hur påverkas riskerna på skogen av klimatets förändring? (påverkas skadegörare och deras naturliga fiender olika mycket/snabbt? Hur stora ändringar i extremvärden tål skogen? Vilka händelseförlopp leder till skador och hur ändras sannolikheten för sådana förlopp?)

- Vilken meteorologisk information är funktionell i biologiska sammanhang och hur bör de biologiska reaktionernas abiotik preciseras?

- Hur kan informationen från scenarier och annan sannolikhetsmetodik tillämpas inom skogsbruket? Hur viktiga är olika osäkerheter i underlaget och beslutskedjan? Vilka osäkerheter kan minskas framöver?

- Går det att ”klimatoptimera” beslut om plantering, skötsel och avverkning av bestånd? (Trädens känslighet för klimatet varierar över tiden. Med tanke på att klimatet ändras kontinuerligt de närmaste årtiondena och även på längre sikt, ändras klimatförutsättningarna för skogen och skogsbruket också kontinuerligt.)

Utgångspunkter

Samspelen mellan klimatet och skogen sker på olika skalor.

- Olika metoder behövs för att hantera

olika skalor, till exempel dynamisk klimatmodellering, processmodellering och statistisk nedskalering.

- Klimatet och dess påverkan på skogen på den mest lokala skalan (mikroklimatet) känner av klimatet på större skala, men även fysiografin (orografi, vegetation) och skogsskötseln. Studier av klimatet och skogen på olika skalor måste därför göras sammanhängande och kopplas ihop bättre.

- Skogen och skogsskötseln påverkar klimatet på global, regional och lokal skala, och därmed återkopplas till hur klimatet påverkar skogen. Dessa återkopplingar bör byggas in i klimatscenarier, effektstudier och beslutsstöd.

Sambandet mellan väder/klimat och biologiska reaktioner samt riskerna med extrema väderhändelser är viktigt att känna till bättre.

- De biologiska konsekvenserna av olika klimatscenarier bör utredas bättre.

- Klimatförändringens effekter kan ske olika snabbt för olika organismgrupper, exempelvis insekter och svampar.

Klimatscenarier är viktiga för beslutsprocessen, redan idag.

- Även beslutsprocesser om skogen sker på olika skalor, från lokal/beståndsnivå (privata skogsägare) till typbestånd och större arealer (rådgivande aktörer). Studier av redan inträffade händelser, återanalyser för att skapa homogena klimatdata med god rumslig och temporal upplösning ger förbättrat underlag för känslighetsstudier, för analys av ekologiska tröskelvärden, risker, och klimatkänslighet ("bioclimatic envelopes"). Sådana studier är särskilt viktiga med tanke på klimatförändringen.

- Skogen påverkas av klimatförändringen längre fram, men kännbara effekter kommer att ske tidigt via ändrade extremvärden. När klimatet ändras i genomsnitt och på sikt, ändras även variationerna och extremvärdena, vilket

kan ge långsiktiga effekter via episodiska över-skridanden av stresströsklar långt före tydliga ändringar i det genomsnittliga klimatet.

- Vad träden är mest känsliga för varierar under deras livscykel. Skogen bör klara av klimatet under hela sin livscykel. Kännbara klimatförändringar beräknas ske under de kommande decennierna med en omfattning och hastighet som överstiger tidigare ändringar under 1900-talet och naturliga klimatändringar sedan den senaste istiden.

Mål

Modul 3, Klimat, i forskningsprogrammet ska:

Öka grundläggande förståelse om det regionala klimatsystemets kopplingar med skogen.

- Beräkningsmodeller/modelleringskedjor som omfattar kopplingar mellan klimatet och skogen utvecklas och kompletteras med nya aspekter, till exempel kvävecykel och kolbalans. Arbetet ska stödja modellutveckling inom andra områden (exempelvis insekter).

- Det regionala klimatet studeras på skalor från 50 till 1 km med dynamisk och statistisk nedskalering. Med processmodellering studeras ännu finare skalor för ökad förståelse och utveckling av andra modellverktyg. Evaluering görs med fältdata av olika slag.

- Samspel sker med planering och genomförande av nya fältstudier som behövs för bättre grundläggande kunskaper, klimatmodellering och effektstudier.

Skapa nya verktyg, mer omfattande klimatdata och användbara klimatscenarier för de övriga delprogrammen.

- Klimatscenariounderlag samlas in, skapas, vidareutvecklas och tillhandahålls till de övriga modulerna. Detta omfattar både framtidsscenarioer och kartläggningar av tidigare klimatvariationer under 1900-talet. De sistnämnda kompletterar befintliga mätdata som inte täcker alla variabler,

processer, tidsskalor och rumsliga skalor.

- Återanalyser bedrivs av befintliga mätdata-baser för att generera högupplösande homogent datamaterial för studier av skadesituationer (stormtillfällen, insektutbrott, svampangrepp, frosttillfällen, torkepisoder).

- Samverkan sker med andra moduler för att utveckla metoder och verktyg för behandlingen av osäkerheter och probabilistisk klimat(scenarie)information till riskanalyser av möjliga skötselåtgärder.

- En programövergripande dialog förs så att klimatstudierna levererar bättre anpassad information till studier av träd och skadegörare. Till exempel, i tillägg till lufttemperatur studeras temperaturer intill aktiva vegetationselement osv.

Metoder

I delprogrammet används tre huvudsakliga metoder: Regional klimatmodellering, processmodellering och statistisk nedskalering. Dessa kommer att utvecklas, tillämpas och byggas in i nya beslutsstödssystem.

Modellutveckling

Avancerad klimatmodellering omfattar bland annat beräkningsmoduler för atmosfären, markytan och i vissa modeller även vattendrag, insjöar och hav. Klimatmodeller som innefattar även interaktiv vegetation med mera håller på att arbetas fram. Eftersom klimatsystemet är globalt kopplat behövs globala modeller. Tillgången till datorkraft begränsar dock detaljeringsgraden i globalmodellering. För regionala klimatstudier används därför regionala klimatmodeller, som ofta är lika komplexa och beräkningstunga som globala modeller, men möjliggör studier med finare upplösning i tid och i rum. Detta är särskilt viktigt för marknära klimatförhållanden samt representationen av extrema händelser av olika slag. Regional kli-

matmodellering kallas även dynamisk nedskalering. Modellutveckling och modellevaluering med insamling och analys av mätdata är viktiga steg i forskningen med klimatmodellering.

Processmodellering används för att titta på enskilda delar av klimatsystemet. Det kan vara fråga om modellering med en sådan detaljeringsgrad som medför färre approximationer än i egentlig klimatmodellering. Det kan också vara fråga om modellering som baseras mer på empiriska samband. I tillägg till ökad förståelse av fysikaliska mekanismer och kopplingar kan processmodellering leda till bättre parameteriseringar – processbeskrivningar – i avancerad klimatmodellering. Processmodelleringar är ett viktigt verktyg på beståndsskalan, trädskalan och kanske ner till insektsskalan.

Statistisk nedskalering går ut på att hitta empiriska samband mellan klimatet på större skala (jämföra tillgängliga observationsdata) och klimatet på lokal skala. Dessa samband kan sedan tillämpas även för modellerade klimatfält som i sig är för grovskaliga för att kunna användas i effektmodellering.

Ett gemensamt behov för vidareutvecklingen av dynamisk och statistisk nedskalering är tillgång till lokala klimatobservationer och detaljerade beskrivningar av fysiografen (topografi, vegetation och så vidare). Modellutvecklingen bör drivas utifrån effektmodelleringens behov. Ett viktigt mål är utökade modellsystem som både levererar information som är direkt relevant för skogen (träd, marken) och de faktorer som påverkar skogen (insekter, svampar, skötsel, klimatstatistik inklusive sannolikheten för ex-trema händelser).

I forskningsprogrammet kommer dynamisk klimatmodellering utvecklas för och tillämpas på skalor mellan 50 och 1 km. Statistisk nedskalering kommer att användas för skalor från 20 till 1 km.

Modelltillämpning

Modelltillämpningar i forskningsprogrammet görs för framtagandet av bättre klimatdatabaser för 1900-talet och för att skapa konsistenta beskrivningar av tänkbara framtida klimatförhållanden. Det förstnämnda används för framtagandet och evalueringen av effektmodeller och åtgärdsstrategier i de övriga delprogrammen. Det sistnämnda används för att revidera och skapa nya åtgärdsstrategier och underlag till beslutsstöd med hänsyn till klimatförändringen framgent.

Modelltillämpningarna kommer att omfatta återanalyser av klimatet under 1900-talet. Dessa kan göras för längre perioder samt för specifika episoder på allt från några dagar till några veckor, för att skapa ett underlag för skogliga/ekologiska undersökningar av processamband. Hög modellupplösning i tid (< 1 timme) och rum (< 10 km) är önskvärt. Det finns olika tekniker för regionala återanalyser, inklusive dynamisk modellering med eller utan data-assimilation och meteorologiska analysystem.

Med känslighetsstudier och modellensembler skapas utökat underlag av tänkbara klimatvariationer och sannolikheten av extrema händelser. Som input behövs kunskaper från andra delprogram om skogssystemets och olika skötselalternativs klimatberoende och klimatkänslighet. Speciellt viktigt är att osäkerheter om det kommande klimatet (till

exempel olika utsläppsscenarioer och annan klimatpåverkan, klimatsystemets känslighet, ändringars transiens och eventuella icke-linjära utvecklingar), effekterna (exempelvis tröskeleffekter, stressnivåer och resiliens) och möjligheter till åtgärder beaktas i scenariearbete, effektstudier och beslutsstödsunderlag. Detta innebär modelleringar baserade på olika tänkbara utsläppsscenarioer och på scenarier för markanvändning och skogsskötsel. Processbeskrivningar och parametervärden som är osäkra bör systematiskt granskas och varieras i modelleringar.

Ett stort antal simuleringar gör det möjligt att beskriva olika faktorer som bidrar till osäkerhet i scenarierna. Detta innebär samtidigt analys av mycket stora datavolymer (gäller särskilt klimatsimuleringarna). Därmed ställs krav på effektiva metoder för att karakterisera modellresultaten på ett sätt som är relevant för effektstudierna. Härvid kan olika tillämpningsspecifika klimatindex, vilka ännu är på ett tidigt utvecklingsstadium, ge goda möjligheter.

Verktyg för beslutsstöd

Lämpliga klimatscenarioverktyg bör utvecklas som en bestående del i nya beslutsstödsystem, så att nya kunskaper kan värderas in och tillämpas av aktörerna i deras kommande arbete även bortom forskningsprogrammet.

Programmets organisation

Ett tvärvetenskapligt program av föreslagen karaktär, med aktörer från flera olika forskningsorganisationer, kräver en väl anpassad organisation med tydlig målstyrning och högt ställda krav på integration. En väl fungerande integration är en förutsättning för att nå uppställda mål.

Organisation och styrning av programmet kommer i hög grad att påverkas av finansieringsstrukturen. Under beaktande av framtida finansierares önskemål och krav och med hänsyn taget till forskningens behov bör programorganisationen fokusera på integration/kommunikation mellan de olika delprogrammen, liksom mellan programmet och avnämarna av programmets resultat.

För att arbetet ska löpa med ett minimum av friktion är det nödvändigt att alla ingående forskargrupper, innan man går in i programmet, accepterar programmets tvärvetenskapliga karaktär och därmed delprogrammets beroende av varandra. Detta beroende innebär bland annat att delprojektets verksamhet måste anpassas till programmets övergripande mål samt att sådana delresultat som är nödvändiga för arbetet inom andra delprogram måste levereras inom uppsatta tidsramar. För att nå framgång bör således programmet presentera en tidsplan som innehåller tydliga åtaganden beträffande leverans av uppsatta delresultat.

Programmets operativa ledning bör förslagsvis bestå av de huvudansvariga för de tre delprojekten plus en utsedd programledare. Förutom den operativa ledningen bör det tillsättas en styrgrupp vars sammansättning kan fastställas först efter det att finansieringsstrukturen klargjorts.

Finansiering

Omfattningen på den verksamhet som krävs för att genomföra det föreslagna programmet bedöms ligga i storleksordningen 40 miljoner kronor fördelat över cirka fyra år. Ett forskningsprogram av denna omfattning måste sannolikt finansieras från flera källor. En möjlig huvudaktör i en sådan samlad satsning kan vara MISTRA som bland annat arbetar med "prioriterade större satsningar". I slutskedet av kommitténs arbete har MISTRA tagit initiativ till planeringen av ett tänkt större forskningsprogram, med arbetsnamnet *Framtidens skog*. MISTRA samverkar i planeringsarbetet med flera andra offentliga och privata finansiärer, inklusive skogsnäringen. Klimatets påverkan på markanvändning och hur vi bäst bör bruka skogsmarken kommer under lång tid att kräva stora forskningsresurser. Det här presenterade underlaget till ett forskningsprogram är tänkt att kunna användas som ett underlag till planeringen av kommande satsningar på klimatforskning med anknytning till skogen och dess framtida användning.

Det är också fullt möjligt att använda föreliggande rapport som underlag för att identifiera och söka stöd för enskilda, mindre forskningsprojekt som kan stötta enskilda delar av programmet, och i sådana sammanhang använda detta underlag, *Klimatet och skogen* som en paraplyskrivning. Förslag om hur det fortsatta arbetet med att realisera ett forskningsprogram ska gå till framgår av förordet till denna rapport.

Utgivna nummer av Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens TIDSKRIFT (KSLAT)

(Titlar markerade med * publiceras endast elektroniskt på KSLAs hemsida www.ksla.se)

2005

- Nr 1 Verksamhetsberättelse 2004 Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
- Nr 2 Den goda jorden - en förstörbar tillgång *
- Nr 3 Mångfald eller fåfald - egna märkesvaror (EMV) på vinst och förlust *
- Nr 4 Blåmusslor klarar västkustens vatten *
- Nr 5 Äganderätt under avveckling? - äganderättens betydelse för de areella näringarna
- Nr 6 Miljö och fiskenäring efter flodvågen - vad görs för att skapa en hållbar återuppbyggnad? *
- Nr 7 Heureka - bättre beslut i skogen *
- Nr 8 Friluftsliv - Framtid - Folkhälsa
- Nr 9 Local and Regional Food *
- Nr 10 Värdet av strömmande vatten *
- Nr 11 Grön bioteknik för framtidens odling *
- Nr 12 Food and Wood for a Sustainable Future - Challenges for Soil Fertility Management
- Nr 13 Forskning inom den gröna sektorn - ekonomisk tillväxt, ekosystemhälsa och välbefinnande *

2006

- Nr 1 Jakten på den gröna marknadskraften *
- Nr 2 Turismen - en grön framtidsnäring *
- Nr 3 När är det kokta fläsket stekt? - om risker och nytta med upphettning av mat
- Nr 4 Verksamhetsberättelse 2005 Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
- Nr 5 Ädellövskog för framtiden
- Nr 6 Situationen i Sveriges hav och arbetet mot övergödning *
- Nr 7 Det ekologiska valet - påverkar det nästa generations hälsa?
- Nr 8 Water Framework Directive - WFD Implementation in a European Perspective *
- Nr 9 Klimatet och skogen - underlag för nationell forskning

Att klimatet förändras påverkar svenskt skogsbruk. Skogen har i sig en direkt inverkan på klimatet samtidigt som skogsbruket kan behöva anpassas till de nya förhållandena. Osäkerhet om kommande klimatförhållanden sätter brukandet av skogen i ett nytt läge som vi inte har någon tidigare erfarenhet av. För att stödja beslutsfattande i denna nya situation behöver vi därför såväl ny kunskap som ett rationellt förhållningssätt till osäkerhet och risk.

Denna rapport presenterar ett underlag för ett skogligt orienterat, tvärvetenskapligt forskningsprogram vars mål är att ta fram beslutsstöd för beslutsfattare avseende anpassning av skogsproduktionen till ett osäkert framtida klimat.



Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien
Drottninggatan 95 B
Box 6806, 113 86 Stockholm
tel 08-54 54 77 00, fax 08-54 54 77 10
www.ksla.se, akademien@ksla.se

Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA) är en mötesplats för den gröna sektorn. Akademien är en fri och oberoende nätverksorganisation som arbetar med frågor om jordbruk, trädgårdsbruk, livsmedel, skog och skogsprodukter, fiske, jakt och vattenbruk, miljö och naturresurser samt skogs- och lantbrukshistoria. Vi arbetar med frågor som berör alla och som intresserar många!