

A photograph of a group of people in a forest, viewed from behind. A man in a plaid shirt and a black cap is in the center, looking towards a large tree trunk. To his right, a woman with blonde hair in a ponytail is also looking at the tree. Other people are visible in the background, some looking at the tree and others looking away. The forest is dense with green pine trees. A bright green diagonal line separates the photo from the title below.

Kunskapsluckor om skogsskador i Sverige

Chandra Kiran Krishnamurthy, Audrius Menkis, Fredrik Widemo, Inka Bohlin, Iryna Matsiakh Johanna Lundström, Maartje Klapwijk, Narayanan Subramanian med assistans av Teresa Lopez-Andujar Fustel
SLU Skogsskadecentrum, 2025

Författare av rapporten

Chandra Kiran B Krishnamurthy, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsekonomi,

Maartje Klapwijk, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi,

Audrius Menkis, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi,

Fredrik Widemo, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vilt, fisk och miljö,

Johanna Lundström, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning,

Inka Bohlin, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning,

Narayanan Subramanian, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap,

Iryna Matsiakh, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap,

Med assistans av Teresa Lopez-Andujar Fustel, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning

Kunskapsluckor rörande skogsskador i Sverige

Utgivningsår: 2025

DOI: <https://doi.org/10.54612/a.2d4qoole3q>

Utgivare: SLU Skogsskadecentrum

Layout: Theres Svensson

Omslagsfoto: Theres Svensson

Foto: Theres Svensson, Pixabay, Iryna Matsiakh, Jenny Svénnäs-Gillner

Sammanfattning

Denna rapport beskriver brister i kunskapen om skogsskador i Sverige. Bristerna begränsar våra möjligheter att förutspå skadornas ekologiska, ekonomiska och sociala konsekvenser, särskilt i ett förändrat klimat. Under de kommande årtiondena förväntas förutsättningarna för svenskt skogsbruk förändras, med följder för skogens struktur och biodiversitet. Det leder till osäkerhet kring risker orsakade av biotiska skadegörare och abiotiska skadefaktorer. Beslutsfattande kommer att kräva mer kunskap än vad som finns idag, och nya och bättre verktyg för skoglig planering som hjälper oss att ta hänsyn till risker för och konsekvenser av skogsskador.

Klimatförändringar har en direkt inverkan på risken för abiotiska skadefaktorer som stormar, torka och brand, och en indirekt på förutsättningarna för betande djur, svampar och insekter. Men vi vet inte exakt hur, och har identifierat följande kunskapsluckor:

- Begränsad förståelse för hur en längre växtsäsong, förhöjda koldioxidhalter och mer frekvent förekommande extremväder påverkar trädens fysiologi, tillväxt och försvarsmekanismer. Effekten på vilt och på insekternas och skadesvamparnas livscyklar, aggressivitet och spridningsdynamik är också otillräckligt känd.
- Otillräcklig kunskap om hur klimatförändringarna påverkar abiotiska skadefaktorer, som torka, storm och brand. Dålig förståelse för hur vatten rör sig i skogliga ekosystem, hur torka uppstår och hur bränder sprids, på grund av begränsade erfarenheter.
- Bristande kvantitativ och kvalitativ förståelse för hur värd-insekt-svamp-interaktioner

förändras i ett varmare klimat, och vid vilka tröskelnivåer klimatinducerad stress försämrar trädens motståndskraft och möjliggör sjukdomsutbrott.

- Bristande kunskap om hur klimatförändringarna kommer att påverka risken för invasiva arter, antingen genom nordlig expansion eller genom introduktioner orsakade av människan.
- Bristande kvantitativ förståelse för hur betande klövdjur påverkar skogens avkastning genom försämrad kvalitet och minskad biomassa. Bristande kunskap om hur betande klövdjur, sork och hare påverkar den framtida artsammansättningen i beståndet.

Dessa kunskapsluckor begränsar våra möjligheter att mäta hur klimatförändringar och skötselmetoder påverkar risken för skador.

Klimatförändringarna påverkar också samspelet mellan dessa skadefaktorer och hur de hanteras. Skogliga störningar påverkar varandra på komplexa och oförutsägbara sätt, och storskaliga skogsskador är ofta resultatet av flera skadegörare eller skadefaktorer i samverkan. Vår förmåga att förstå, analysera och förutspå effekten av detta är idag bristfällig. Produktionsskogar är dessutom socio-ekologiska system, vilket betyder att kunskapsluckor rörande ekologiska frågor leder till luckor i socio-ekonomiska, och vice versa. Kunskapsluckorna som identifieras här rör inte bara frekvensen och magnituden av skador och deras samspel, utan även hur de påverkas av skötselmetoder.

Idag saknar vi förmågan att:

- Använda beslutstödssystemet Heureka för att simulera effekten av olika skadehändelser på skog i ett förändrat klimat. Därför kan vi heller inte modellera sambandet mellan skogsskötsel och skaderisk, eller fastställa vilken skötsel som bäst hanterar skadefaktorer i samverkan.
- Modellera skaderisk i varierande skala, för att kunna jämföra exempelvis bestånd- och landskapsnivå. Skogsägare har olika attityder till risk och riskhantering, och vi saknar idag kunskap om detta. Ett utspritt ägande påverkar möjligheten till riskhantering på landskapsnivå, och till ett optimalt utnyttjande av skogsförsäkringar.
- Kvantifiera marknadseffekter av storskaliga skogsskador, och analysera hur sådana händelser påverkar olika intressenter inom sektorn. Det behövs en standardiserad nationell eller regional svensk skogssektormodell som är kopplad till dessa marknader.

Sammanfattningsvis kommer förutsättningarna för det svenska skogsbruket att förändras under de kommande 30–40 åren, vilket även kommer att leda till nya förutsättningar för skadegörare och riskbilder för skogsskador. För att vi ska kunna förstå och förutse vad det innebär krävs kvantitativa data. Denna rapport fokuserar huvudsakligen på de ekologiska och ekonomiska aspekterna av skogsskador i Sverige. Skogens viktiga roll för kolinlagring och biodiversitet har fört den högt upp på dagordningen i både Sverige och Europa, men den aspekten behandlas inte i denna rapport. Det gör inte heller förändringar i ägandestruktur eller demografi, trots att de kan få konsekvenser för skötseln och diversiteten i svensk skog.

De identifierade luckorna kan hanteras med följande åtgärder:

- Uppdatera Heureka till att kunna beräkna risker för flera olika skadegörare och skadefaktorer, och integrera modeller för alternativ skogsskötsel.
- Utveckla kvantitativa ekonomiska modeller för att beräkna hur multipla skaderisker bäst hanteras, integrera skogsindustrin och skogssektorn och förstå hur storskaliga skador påverkar dem, samt beräkna den ekonomiska effekten av långvariga utbrott av insekts- och svampskadegörare.
- Utveckla modeller för att upptäcka och riskbedöma invasiva arter och framväxande patogener.

- Förbättra biologiska kontrollmetoder, och implementera ekosystembaserade tillvägagångssätt för att minska spridningen av skogssjukdomar.
- Kvantifiera hur långvariga trender i relevanta insektspopulationer påverkar skogshälsan.
- Kvantifiera hur betetrycket i ungskog påverkar avkastningen och artsammansättningen.
- Analysera avvägningar och synergier mellan olika åtgärder mot torka och brand, samt hur dessa påverkar andra förvaltningsmål och risken för andra skadegörare och skadefaktorer.

Att åtgärda kunskapsluckorna i denna rapport kommer att underlätta utvecklandet av nya stödverktyg för beslutsfattande i skog.

Innehåll

Klimatförändringar i Sverige	8
Del 1 Biotiska och abiotiska skadefaktorer	10
1. Skador orsakade av patogener	11
1.1 Utmaningar i ett föränderligt klimat	11
1.2 Förändringar i interaktioner mellan värd och patogen	11
1.3 Förändringar i interaktioner mellan insekter och patogener	12
1.4 Skogssjukdomar som ökar i betydelse	13
1.5 Invasiva skadegörare och globalisering	14
1.6 Skötselstrategier	14
1.7 Framtida forskningsområden att prioritera	15
2. Skador orsakade av insekter	20
2.2 Använda nya trädslag	20
2.3 Förädling och förökning av träd	20
2.4 Framväxande skadegörare	21
2.5 Främmande insektsarter	21
2.6 Samhällsstruktur och komplexa ekologiska interaktioner	21
2.7 Trade-offs, synergier och beslutsprocesser	22
2.8 Prioriterade områden för framtida forskning	22
3. Skador orsakade av torka och skogsbrand	26
3.2 Torka i skogliga ekosystem	26
3.3 Skogsbränder, spridning av brand och biodiversitet	26
3.4 Motverka torka och skogsbrand genom skötselåtgärder	27
3.5 Modellering och kartläggning av risken för och effekten av torka och brand	28
3.7 Prioriterade områden för framtida forskning	28
4. Klövviltets inverkan	31
4.2 Översikt av begränsningar	31
4.3 Tillväxt och virkeskvalitet	31
4.4 Beståndssammansättning	32
4.5 Övervakning av skador	32
4.6 Effekter på val av skogsvårdsmetoder	33
4.7 Biologisk mångfald och kolinlagring	33
4.8 Prioriterade områden	33
Del 2. Kvantitativa modeller för bedömning av skogsskador	37
5. Risk- och konsekvensanalyser med Heureka	38
5.2 Luckor	38
5.3 Heureka	39
5.4 Prioriterade områden för framtida forskning	39
6. Ekonomiska aspekter av skogsskador	41
6.2 Ekonomiska aspekter av små skogsägares riskhantering	41
6.3 Ekonomiska modeller för att uppskatta storskaliga skogsskador	42
6.4 Beslutsfattande i skogsfrågor när informationen är mycket osäker	43
6.5 Prioriterade områden för framtida forskning	43
7. Kvantifiering av stormskador på landskapsnivå	46
7.2 Stormar och svenskt skogsbruk	46
7.3 Metod och data	46
7.4 Simuleringsresultat	47
7.5 Diskussion och slutsats	49
8. Syntes: Övergripande frågor och kunskapsluckor	52
8.1 Interaktioner mellan skadefaktorer	52
8.2 Invasiva arter	52
8.3 Ekonomiska konsekvenser, modeller och beslutsfattande	53
8.4 Klimatdrivna förändringar hos skadefaktorer, deras interaktioner, och beslutsstödsystem	53
8.5 Prioriterade forskningsområden	54
8.6 Slutsats	55





Introduktion

Denna rapport syftar till att identifiera kunskapsluckor gällande skogsskador i ett förändrat klimat, och diskutera vad de innebär för svenskt skogsbruk. Rapporten rör svenska skogsskador och interaktioner mellan olika skadefaktorer, och integrerar kunskaper inom Skogsskadezentrum vid SLU. Den belyser också bristfälligt utnyttjande av befintliga verktyg och metoder.

Del I fokuserar på biotiska och abiotiska skadefaktorer. De biotiska inkluderar insekter, svampar och interaktionen mellan dem, samt betande djur. De abiotiska inkluderar torka och skogsbrand. Ett övergripande tema är huruvida risken för dessa skador kommer att öka i ett nytt klimat, och vilka skötselalternativ som kan motverka dem.

Del II fokuserar på kunskapsbrister rörande kvantifiering och modellering av samspelet mellan faktiska skador, skadefaktorerna, och skogsskötseln. Olika typer av ramverk för kvantifiering diskuteras, med fokus på vad som saknas för att bättre förstå de ekologiska drivkrafterna och vilka åtgärder som kan motverka skadorna.

För att illustrera samspelet mellan skadefaktorer och skötselåtgärder i ett föränderligt klimat presenteras här också en studie över stormskador i olika klimatscenarier. Avsikten är i första hand att visa på betydelsen av relevanta, kvantitativa data som underlag i sådana övningar, och i andra hand att visa hur modellernas brister styr vad vi kan få ut av dem. Det kan få stor betydelse för sektorns intressenter.

Klimatförändringar i Sverige

Sedan slutet på 1800-talet har medeltemperaturen i Sverige stigit med 1,9 °C. Effekten är störst på vintern (2,3 °C) och våren (2,6 °C). Extremt varma månader har blivit vanligare, och kalla har blivit mer ovanliga. Växtsäsongen har förlängts med i genomsnitt tre veckor (fem veckor i Götaland, två i Norrland).

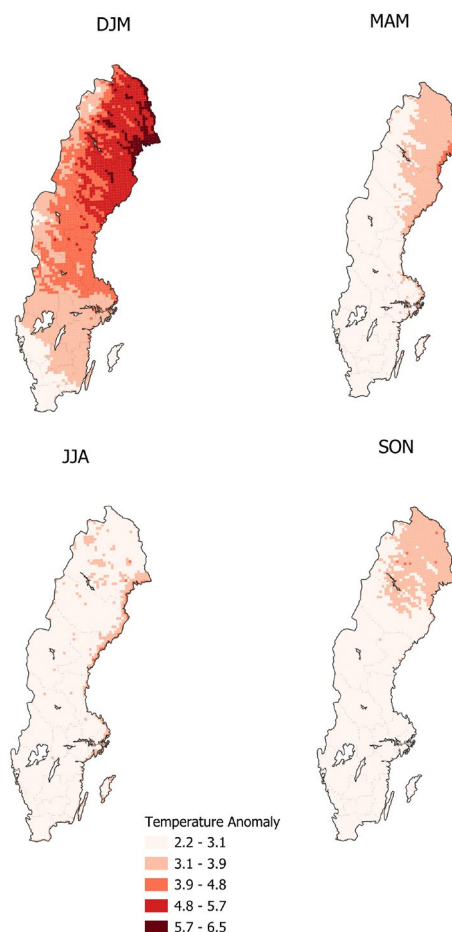
Genomsnittsnederbörden per år har ökat från 600 till 700 mm, och med ännu mer under vintern. Nederbördsrika år är vanligare och år med lite nederbörd mer ovanliga. Antalet dagar med liggande snötäcke har minskat, även om medelsnödjupet är oförändrat.

Den totala solstrålningen per år har ökat med 10 % sedan 1980-talet, främst på grund av mindre molnighet och färre partiklar i atmosfären. Både den genomsnittliga och den maximala vindstyrkan förefaller ha minskat, men det finns viss osäkerhet rörande omfattningen och orsakerna. (Minola et al, 2016, 2021; SMHI, 2024)

Prognoser för perioden 2050–2100 pekar på stigande temperaturer (upp till 3 °C varmare i Norrland jämfört med perioden 1961–1990), förändrade mönster i nederbörd med en särskilt tydlig ökning i Norrland, längre växtsäsong, och mer frekvent förekommande extremnederbörd och översvämningar (SMHI, 2024).

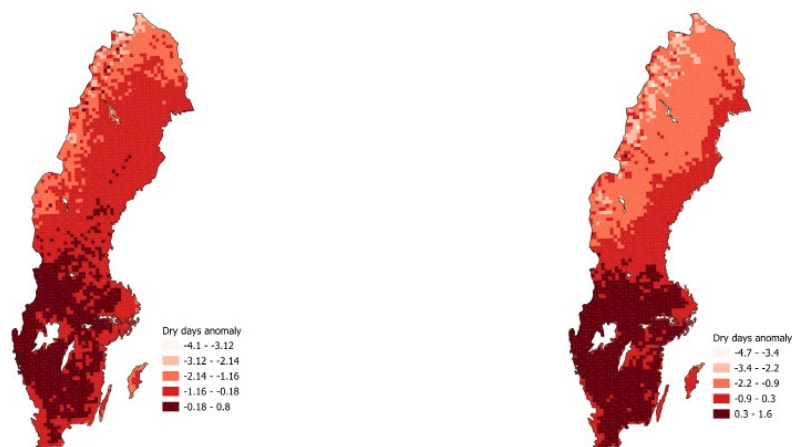
Detta mönster visas i Figur 1, för klimatscenario RCP 4.5 (SMHI), över fyra årstider. Figur 2 visar en ökning i antalet dagar utan nederbörd för både sommar och höst, särskilt i södra och västra delen av Sverige.

De prognostiserade förändringarna (Sjökvist et al, 2025, Eklund et al, 2015) påverkar såväl biotiska skadegörare som abiotiska skadefaktorer. Svenska skogar blir mer känsliga för torka och brand. Insekts- och svamppopulationers omfattning, utbredning och sammansättning förändras och mindre köldhårdiga arter kan spridas. Det kan förlänga och förvärra lokala sjukdomsutbrott.



Figur 1: Beräknad säsongvis förändring i medeltemperatur under perioden 2071–2100, jämfört med 1971–2000. Baserat på medelvärden för flera klimatmodeller, i klimatscenario RCP 4.5.

De stigande temperaturerna förutspås öka produktionen av biomassa, men också intensiteten och frekvensen av extremväder som stormar. Kortvariga extrema regnskurar förväntas också bli vanligare, vilket kan orsaka erosion men i övrigt få oklara effekter på skogen. Ökad nederbörd under vintern och kortare perioder av tjäle ökar också känsligheten för stormar.



Figur 2a

Figur 2b

Figur 2: Beräknad förändring i antalet nederbördsfria dagar mellan 2071-2100 och 1971-2000, för sommar (a) och höst (b). Baserat på medelvärden för flera klimatmodeller, i klimatscenarioet RCP 4.5.

Referenser

Belusic, D., Berg, P., Bozhinova, D., Barring, L., Döschner, R., Eronn, A., ... & Strandberg, G. (2019). Climate extremes for Sweden.

Eklund, A., Axén Mårtensson, J., Bergström, S., Björck, E., Dahné, J., Lindström, L., ... & Sjökvist, E. (2015). Sveriges framtida klimat: Underlag till Dricksvattenutredningen. SMHI.

Minola, L., Reese, H., Lai, H.W., Azorín Molina, C., Guijarro Pastor, J.A., Son, S.W., & Chen, D. (2021). Wind stilling–reversal across Sweden: The impact of land–use and large–scale atmospheric circulation changes.

Minola, L., Azorin–Molina, C., & Chen, D. (2016). Homogenization and assessment of observed near–surface wind speed trends across Sweden, 1956–2013. *Journal of Climate*, 29(20), 7397–7415.

Ou, T. (2017). Droughts and wildfires in Sweden: past variation and future projection. Göteborgs Universitet. (url: <https://www.msb.se/siteassets/dokument/publikationer/english-publications/droughts-and-wildfires-in-sweden-past-variation-and-future-projection.pdf>)

Sjökvist, E., Andersson, M., Eklund, A., Karlsson, E., & Norman, M. (2025). Klimatunderlag för klimat- och sårbarhetsanalyser

¹Länk till data: <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenariotjansten/klimatscenariotjansten/met/sverige/medeltemperatur/rcp45/2071-2100/winter/anom> (accessed last on June 16, 2025). Data hämtades med följande variabler: temperatur (anomalier) för respektive årstid, och för RCP4.5-scenariot i figur 1, och nederbördsfria dagar (under Nederbörd) i figur 2.

² IPCC:s klimatscenarier för att projicera framtida växthusgaskoncentrationer har, sedan den femte utvärderingsrapporten (AR5) år 2014, redovisats i form av så kallade RCP:er (Representative Concentration Pathways). De vanligast använda RCP:erna är RCP 4.5 och 8.5, där siffrorna hänvisar till den förväntade ökningen i strålningsdrivning mellan åren 1750 och 2100. RCP 4.5 och 8.5 används ofta som kortformer för scenarier som innebär en tydlig begränsning av framtida utsläpp respektive ett mer konservativt ”business as usual”-scenario. Dessa scenarier har bland annat utvärderats ingående i SMHI:s rapport Sveriges framtida klimat (uppdateras regelbundet, se <https://www.smhi.se/publikationer-fran-smhi/sok-publikationer/2025-02-10-klimatunderlag-for-klimat-och-sarbarhetsanalyser>)

Del 1 Biotiska och abiotiska skadefaktorer

1. Skador orsakade av patogener

Skogspatologins förutsättningar stöps om. Stigande temperaturer, ihållande torka och förändrade nederbördsmonster påskyndar spridningen av skadegörare som tidigare varit begränsade av det historiska klimatet. Den globala handeln, särskilt med växter, ökar risken för introduktion av invasiva skadegörare.

Dessa förändringar skapar stor osäkerhet över hur skogssjukdomar kommer att utvecklas under de kommande årtiondena. De nya förutsättningarna avslöjar viktiga kunskapsluckor, bland annat om samspelet mellan stress och resistens, smittbärande vektorer, samverkande infektioner, skogens långsiktiga motståndskraft och de ekonomiska konsekvenserna av nya och invasiva skadegörare.

Denna del belyser våra viktigaste kunskapsluckor rörande patogener, såsom klimatförändringarnas utmaningar, nya värd-patogen-insekts-interaktioner, framväxande sjukdomar, invasiva skadegörare och globaliseringen, samt konsekvenserna av olika skötselstrategier.

1.1 Utmaningar i ett föränderligt klimat

Stigande temperatur, förändrad nederbörd och förlängd växtsäsong påverkar patogenernas överlevnad och spridning (Dale et al, 2001), även om effekten på lång sikt ännu är okänd.

Den snabba spridningen av olika *Phytophthora*-arter belyser vikten av förbättrad riskbedömning och övervakning. Trots den ökade risken har Sverige inga modeller för riskbedömning som tar hänsyn till klimat, ekologi och skötselstrategier.

Klimatförändringarna låter inhemska patogener öka sina utbredningsområden i hela Europa, och skapar gynnsamma omständigheter för invasiva arter. Svampar som *Dothistroma septosporum* och *Diplodia sapinea* har visats sprida sig norrut (Brodde et al, 2019), men vi saknar ett ramverk

som länkar samman klimatet med utbredningen av patogener. Extremväder som storm och torka förväntas driva på spridningen ytterligare. Klimatets påverkan på trädens mottaglighet är ännu oklar. Längre växtsäsonger kan gynna tillväxten, men förlänger samtidigt många patogeners aktiva period (Desprez-Loustau et al, 2006).

Exempelvis förväntas den allvarliga rotrötesvampen *Heterobasidion* spridas snabbare i ett varmare klimat (Thor et al, 2005). Stressfaktorer som torka kan göra träden mer mottagliga för infektion, men det saknas ännu data för hur detta sker i Sverige (Knutzen et al, 2025). En stor utmaning ligger i att upptäcka framväxande patogener i tid.

Nuvarande övervakning missar ofta latenta infektioner och patogenerna kan därför spridas oupptäckta. En mer omfattande användning av molekylär diagnostik och fjärranalys skulle kunna förbättra realtidsövervakningen och möjliggöra en snabbare respons.

1.2 Förändringar i interaktioner mellan värd och patogen

Klimatförändringar stör balansen mellan träd och patogener. De ökar också risken att patogener som introduceras via handel ska orsaka utbrott i regioner som tidigare varit för ogästvänliga (Stenlid & Oliva, 2016). Fenologiska förskjutningar komplicerar detta ytterligare. Om klimatförändringarna gör att träd och deras patogener utvecklas vid olika tidpunkter kan infektionsrisken öka — särskilt om träden förlorar förmågan att anpassa sig till dessa kombinerade klimat- och sjukdomspåfrestningar. Om det nya klimatet leder till fenologiska förändringar hos träden, kan det föra med sig ökad mottaglighet för skadegörare.

Utbrottet av *Gremmeniella abietina* i Sverige 2001 illustrerar riskerna med dålig miljöanpassning: frostkänsliga träd av sydlig härkomst som hade flyttats norrut var mer mottagliga för angreppen. Värdrädets möjlighet att försvara sig beror på en kombination av genetisk och miljömässig anpassning. Stressfaktorer som brist på näringsämnen, extremväder och fenologiska förskjutningar ökar sårbarheten mot patogener. Det är nödvändigt att förstå hur plasticitet interagerar med patogenernas ständigt föränderliga skadetryck för att förstå skogens långsiktiga motståndskraft (Trumbore et al, 2015).

Trädförädling fokuserar ofta på kända skadegörare, men trädens livslängd gör dem känsliga även för framväxande patogener. Utan ihållande övervakning kan resistensfaktorer snabbt bli föråldrade och irrelevanta. Stigande temperaturer och koldioxidhalter förväntas leda till ökad tillväxt, men det kan samtidigt urholka trädens försvarsförmåga. Mer vanligt förekommande torka gör att svenska granar producerar mindre kåda, vilket försvagar skyddet. Tröskelvärdena när stress riskerar leda till utbrott är dock oklara (Jönsson & Lagergren, 2018).

Förändringar i beståndens artsammansättning (blandskog vs monokultur) påverkar också sjukdomsdynamiken. Blandskog minskar generellt sett sjukdomsrisk, eftersom utbrotten förstärks av tillgång på tätt stående värdräd. Mottagliga arter gynnas därför av att blandas ut med mer motståndskraftiga. Latenta patogener, som för närvarande orsakar minimal skada, kan växa fram som allvarliga hot när klimatförändringarna leder till ökad stress och förändrar patogenernas beteende. Att identifiera och övervaka sådana framväxande hot förblir en stor utmaning för det hållbara skogsbruket.

1.3 Förändringar i interaktioner mellan insekter och patogener

Många skogspatogener sprids via insekter. Stigande temperaturer förändrar insekternas beteende, livscyklar och utbredning, vilket ökar smittspridningen (Roos et al., 2010). Vissa samspel är väl studerade, som mellan barkborrar (*Scolytus* spp.) och almsjuka (orsakad av *Ophiostoma novo-ulmi*), men många är fortfarande dåligt kända. Det medför risker för både skogshälsa och virkesproduktion.

Ett viktigt exempel är granbarkborren (*Ips typographus*). Den sprids allt längre norrut och orsakar allt oftare utbrott, till följd av längre parningssäsonger och mildare vintrar. Barkborren infekterar träden med blånadssvampar (*Ophiostoma*, *Grosmannia* spp.) som blockerar vattentransporten (Netherer et al., 2021). Värme kan gynna svamputvecklingen inne i insekterna och därmed öka smittspridningen. Mildare vintrar får också andra vektorer, som vedlevande och savsugande insekter, att utöka sina utbredningsområden. Hit hör den invasiva ekskadegöraren *Corythucha arcuata*, samt bladlöss och sköldlöss, vilka kan sprida virus och bana väg för sekundära infektioner. Klimatförändringar kan driva fram nya sådana interaktioner och göra multipla infektioner vanligare.

Insekters naturliga fiender, som predatorer och parasitoider, kan bidra till att minska spridningen av patogener, men deras roll i nordiska skogsekosystem är inte ordentligt utredd. Även insekternas mikroflora påverkar sjukdomsspridningen. Barkborrar kan bära på flera svamparter, och samspelet mellan dessa kan förvärra sjukdomsförloppet, men inte heller detta är tillräckligt utforskat (Davis et al., 2010). Vissa bakterier eller virus hos insektsvektorer kan hämma eller förstärka patogenernas virulens, och klimatdrivna förändringar i mikrobiomen kan därmed påverka infektionsdynamiken. Även skogens sammansättning spelar en viktig roll. Monokulturer är särskilt mottagliga för insektsburna sjukdomar, medan blandskogar kan ge en större motståndskraft. Dessutom kan torka och extrema väderhändelser förvärra insekts- och patogenskadorna genom att stressa träden och skapa infartsvägar för infektion.

1.4 Skogssjukdomar som ökar i betydelse

Flera skogssjukdomar ökar i utbredning, intensitet och värdspektrum, vilket hotar både inhemska och introducerade trädslag (Anderson et al., 2004). Deras uppkomst och expansion drivs av global handel, förändrad markanvändning och klimatförändringar. Värdrädens förekomst och mottaglighet påverkas, liksom patogenernas virulens. Monokulturskogsbruk och samevolution mellan värd och patogen (eller brist därpå) formar också sårbarheten (Gougherty, 2023).

Sveriges skogsareal består till 83 % av barrdominerade bestånd, där tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*) är särskilt mottagliga för rotröta och rostsvampar. En av de mest allvarliga rotrötesvamparna är rotticka (*Heterobasidion* spp.). Den sprids via stubbinfektioner och rotkontakter, och ökar stadigt i förekomst (Woodward et al., 1998). *Armillaria*-röta ökar också, särskilt i södra Sverige, men undgår ofta upptäckt på grund av otydliga symtom i tidiga stadier (Heinzelmann et al., 2018). Nya utbrott av törskate (*Cronartium pini*) på tall i norra Sverige har väckt oro. Sjukdomen orsakar stora tillväxtförluster, och svampens komplexa livscykel gör den svår att skydda sig mot. De långsiktiga effekterna av dessa utbrott är ännu okända (Samils & Stenlid, 2022). Mer forskning behövs om sjukdomsutveckling, sporspridning och resistensmekanismer.

Gremmeniella abietina fortsätter att vara en allvarlig sjukdom i Norrland och angriper flera barrträdslag. Större utbrott sker efter återkommande kalla, fuktiga somrar och drabbar främst stressade bestånd. Diagnos och bekämpning försvåras av att svampen uppträder som flera raser (Stenlid & Oliva, 2016). Andra patogener, som *Diplodia sapinea* och *Sydowia polyspora*, påträffas allt oftare på contortatall (*Pinus contorta*) i mellersta Sverige, ofta efter torka eller annan stress. *D. sapinea* förknippas med minskad tillväxt och plötsliga utbrott, och har kunnat expandera norrut som följd av det varmare klimatet (Brodde et al., 2019). *S. polyspora*, en vanligt förekommande endofyt, kan bli patogen om trädet är stressat, exempelvis av något annat angrepp (Busby et al., 2016).

Tallskytte, orsakad av *Lophodermium* spp., är på uppgång, särskilt i plantskolor och unga tallplanteringar. Den icke-patogena arten *L. pinastri* kan hämma den mer aggressiva *L. seditiosum* och skulle eventuellt kunna användas som biologisk kontroll, men det krävs mer forskning kring den genetiska diversiteten inom *Lophodermium*-komplexet (Patejuk et al., 2021).

Många framväxande patogener förbises inledningsvis, och växer fram först när värdräden utsätts för miljörelaterad stress. I synnerhet plantskolor kan vara viktiga sjukdomshärdar. Denna risk kan minskas genom förbättrad övervakning och utbildning, och användning av lokalt anpassade genotyper. Det finns ett behov av långsiktiga studier, genetisk resistensscreening och stärkt sektorsövergripande samarbete bland myndigheter för att hantera framtida hot mot skogshälsan.



Symptom av gremminiella, Foto: Iryna Matsiak

1.5 Invasiva skadegörare och globalisering

Invasiva skogspatogener utgör ett växande hot i hela Europa, men särskilt i Fennoskandien (Santini et al., 2013). De rubbar ekosystem, hotar den biologiska mångfalden och orsakar ekonomiska förluster (Stenlid & Oliva, 2016). Sverige importerar årligen cirka 4 025 ton växter som ofta härstammar utanför Europa. Detta skapar spridningsvägar för främmande patogener. Karantänregler och fytosanitära kontroller är viktiga för att begränsa introduktioner, men de kan inte helt förhindra dem (Liebhold et al., 2012). Sedan 1800-talet har 30–40 invasiva skogspatogener dokumenterats i Sverige (Santini et al., 2013). Inhemska arter är särskilt sårbara eftersom de inte utvecklats tillsammans med de invasiva, och därför saknar särskilt försvar mot dem (Brasier, 2008). Detta är särskilt oroande för ekonomiskt viktiga arter som tall och gran.

För att hantera invasiva skadegörare effektivt krävs en strategi som integrerar tidig upptäckt, resistensförädling och scenariobaserade studier. Sådana studier kan analysera trädslagets mottaglighet under förändrade klimatförhållanden (Naidoo et al., 2019). Framsteg inom molekylära diagnostiska verktyg, såsom qPCR, LAMP och fjärranalys, kan möjliggöra tidig upptäckt, även om de skiljer sig åt i precision, kostnad och skalbarhet. Skogliga skötselstrategier måste anpassas för att möta dessa nya hot. Blandskogar är generellt mer motståndskraftiga än monokulturer (Gómez-Aparicio & Ruiz-Benito, 2022). Förbättrad övervakning och strategisk diversifiering eller byte av trädslag vid gallring och nyplantering kan minska risken för och allvaret i framtida utbrott.

Det finns också behov av verktyg för att förutse risker på skandinavisk nivå, och av ramverk för nordiskt forskningssamarbete. Riskkartor, ekonomiska analyser och ett gemensamt forskningsnätverk skulle förbättra förståelsen för sjukdomarnas dynamik och möjliggöra gemensamma förebyggande åtgärder. Samordnade databaser över interaktioner mellan värd och patogen skulle vara ett stöd för prognoser och planering för långsiktig motståndskraft (Guégan et al., 2023).

Eftersom skogsbruket står för cirka 10 % av Sveriges årliga exportvärde (Skogsstyrelsen, 2020), är det ökade hotet från patogener en nationell angelägenhet. Att stärka biosäkerhetsrutiner, förbättra fältdiagnostik och investera i långsiktig ekologisk forskning är viktiga steg för att säkra skogshälsan och den ekonomiska stabiliteten under de kommande årtiondena.

1.6 Skötselstrategier

Skogliga åtgärder som trädslagsval, gallring och stubbehandling har stor inverkan på sjukdomsdynamiken. Svenskt skogsbruk domineras av monokulturer, men ökad trädslagsdiversitet ger större motståndskraft (Roberts et al., 2020). Exempelvis blir granbestånd med stort inslag av tall mindre drabbade av rotröta. För att minska rötskadorna rekommenderas att gallringen görs tidigt, under vintern eller i kombination med stubbehandling. Rotstop® (*Phlebiopsis gigantea*) används i stor skala i Sverige för att skydda stubbar mot *Heterobasidion*, men felaktig applicering minskar ofta effekten (Blomquist et al., 2023). På före detta jordbruksmark är unga barrplanteringar särskilt sårbara för *Heterobasidion* (Delatour et al., 1998).

Mer forskning behövs om hur åtgärder som kalavverkning eller luckhuggning påverkar sjukdomsdynamik och trädens motståndskraft. Alternativa trädslag som *Pseudotsuga menziesii* och *P. contorta* kan vara sårbara för nya patogeninteraktioner. Exempelvis är *P. contorta* under nordiska förhållanden mottaglig för *Dothistroma septosporum* och *Diplodia sapinea* (Millberg et al., 2015).

Effektiva övervakningsmetoder, såsom sporfällor eller användning av sentinelträd, är viktiga för tidig upptäckt och kontroll (Castaño et al., 2017). För närvarande saknas dock standardiserad, långsiktig övervakning av patogener och en nationell databas i Sverige. Stärkt samordning i Norden och Baltikum samt investeringar i tidiga varningssystem är nödvändiga (Hopkins & Boberg, 2012).

Biologisk bekämpning används fortfarande i begränsad omfattning i Sverige. *P. gigantea* är den främsta biokontrollagenten mot rotröta, men även arter som *Trichoderma*, *Gliocladium* och *Bacillus* visar potential. Endofyter som *Phaeothea dimorphospora* verkar kunna hämma tillväxt av *Gremmeniella abietina* (Romeralo et al., 2015). Storskaliga fältförsök krävs dock för att bekräfta dessa effekter. Trädens mikrobiom kan också bidra till resistens, men kan vara känsliga för störningar under klimatförändringar. Även mykovirus skulle kunna användas för biologisk kontroll (Galli et al., 2025).

De ekonomiska effekterna av skogspatogener är betydande. Enbart rotröta orsakad av *Heterobasidion* beräknades på 1990-talet kosta europeiskt skogsbruk upp till 580 miljoner euro årligen, och sjukdomen är idag än mer utbredd (Woodward et al., 1998). Det senaste stora utbrottet av *G. abietina*, år 2001, drabbade över 450 000 hektar i Sverige. Försöken att utrota almsjuka på Gotland ökar och kostar idag mer än sex miljoner kronor per år (Hopkins & Boberg, 2012). Indirekta kostnader som förlust av biologisk mångfald och minskade ekosystemtjänster är svårare att kvantifiera. Socioekonomiska konsekvenser för landsbygdens lokalsamhällen och för skogens rekreativa värden är också bristfälligt studerade (McKinney et al., 2011). Kostnaden för investeringar i tidig upptäckt, övervakning och förebyggande åtgärder är relativt låg jämfört med kostnaden för sjukdomshantering, skador och bekämpning av utbrott (Leung et al., 2002).

1.7 Framtida forskningsområden att prioritera

Mot bakgrund av de identifierade kunskapsluckorna kan följande forskningsområden anses vara de mest angelägna:

1. Förbättrad övervakning och riskbedömning: Bygg ut övervakningen i skogar och tätorter med systematisk datainsamling, koppla resultaten till klimat- och ekosystemdynamik och utveckla modeller för risk- och sjukdomsdetektion av invasiva och framväxande patogener.
2. Analys av ekonomiska och ekologiska effekter: Utveckla kvantitativa och ekonomiska modeller för att bedöma långsiktiga effekter av insektsburna och svamporsakade sjukdomar på skogsekosystem, ekosystemtjänster och skogsekonomi.
3. Hållbara strategier för sjukdomshantering: Förbättra biologiska bekämpningsmetoder, ta fram naturligt resistent träd genom förädlingsprogram och tillämpa ekosystembaserade metoder för att begränsa spridningen av skogssjukdomar.

Gran närbild. Foto: Theres Svensson



Referenser

- Anderson P.K., Cunningham A.A., Patel N.G., Morales F.J., Epstein P.R., Daszak P. 2004. Emerging infectious diseases of plants: Pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 535–544. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.021>.
- Brasier C. M. 2008. The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plants. *Plant Pathology* 57: 792–808.
- Blomquist M., Cleary M., Sherwood P., Pinto W., Herrera S.L., Marciulyriené D., Elsafy M., Bakal I., Nilsson A., Ronnberg J. 2023. The potential of biological control against *Heterobasidion* root rot is not realized in practical forestry. *Forest Ecology and Management* 53: 120778.
- Brodde L., Adamson K., Julio Camarero J., Castaño C., Drenkhan R., Lehtijärvi A., Luchi N., Migliorini D., Sánchez-Miranda Á., Stenlid J., et al. 2019. Diplodia Tip Blight on Its Way to the North: Drivers of Disease Emergence in Northern Europe. *Front. Plant Sci.*, 9: 1818.
- Busby P.E., Ridout M., Newcombe G. 2016. Fungal endophytes: modifiers of plant disease. *Plant Molecular Biology* 90: 645–655.
- Castaño C., et al 2017. Mushroom emergence detected by combining spore trapping with molecular techniques. *Applied and Environmental Microbiology*. 83, 1–14. <https://doi.org/10.1128/AEM.00600-17>.
- Davis T. S., Hofstetter R. W.1, Klepzig K. D., Foster J. T., Keim P. 2010. Interactions between multiple fungi isolated from two bark beetles, *Dendroctonus brevicornis* and *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Yeast and Fungal Research* 1: 118 – 126.
- Dale et al, Climate Change and Forest Disturbances: Climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides, *BioScience*, 51: 723–734. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0723:CCAFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0723:CCAFD]2.0.CO;2).
- Desprez-Loustau M. L., Marçais B., Nageleisen L.-M., Piou D., Vannini A. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Ann. For. Sci.*, 63: 597–612 <https://doi.org/10.1051/forest:2006040>.
- Delatour C., Weissenberg von K. & Dimitri L. 1998. Host resistance. In: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R. & Hüttermann, A. (Eds.). *Heterobasidion annosum: biology, ecology, impact and control*. CAB International, Wallingford, UK. pp. 143–166.
- Galli M., Sede A., Heinlein M. et al. 2025. A biocontrol perspective on mycoviruses in fungal pathogen management. *J Plant Dis Prot* 132: 43. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-01006-9>.
- Gougherty A. V. 2023. Emerging tree diseases are accumulating rapidly in the native and non-native ranges of Holarctic trees. *NeoBiota* 87: 143–160. <https://doi.org/10.3897/neobiota.87.103525>.
- Guégan J.F., Thoisy B. de, Gomez-Gallego M. and Jactel H. 2023. World forests, global change, and emerging pests and pathogens. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 61: 101266.
- Heinzelmann R., Dutech C., Tsykun T., Labbé F., Soularue J.P. & Prospero S. 2018. Latest advances and future perspectives in *Armillaria* research, *Canadian Journal of Plant Pathology* <https://doi.org/10.1080/07060661.2018>.
- Hopkins A., Bobber J. 2012. Risk assessment and establishment of a system to address potential pathogens in Nordic and Baltic forestry as a result of climate change SNS-report within the Selfoss declaration on sustainable forestry. 43p.
- Jönsson A., & Lagergren F. 2018. Effects of climate and soil conditions on the productivity and defence capacity of *Picea abies* in Sweden—An ecosystem model assessment. *Ecological Modelling* <http://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2018.06.023>.

- Knutzen et al, 2025. Impacts on and damage to European forests from the 2018--2022 heat and drought events. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 25: 77–117. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-77-2025>.
- Liebhold A.M., Brockerhoff E.G., Garrett L.J., Parke J.L., Britton K.O. 2012. Live plant imports: the major pathway for forest insect and pathogen invasions of the US. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10: 135–143. <https://doi.org/10.1890/110198>.
- Leung B., Lodge D.M., Finnoff D., Shogren J.F., Lewis M.A., Lamberti G. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 269: 2407–2413.
- McKinney L.V., Nielsen L. R., Collinge D. B., & Hansen J. K. 2011. The ash dieback crisis: Genetic variation in resistance can mitigate but not stop the disease. *Forest Ecology and Management* 261: 871–878.
- Millberg H., Hopkins A. J. M., Boberg J., Davydenk K., Stenlid J. 2015. Disease development of *Dothistroma* needle blight in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* under Nordic conditions. *Forest pathology* 46: 515–521. <https://doi.org/10.1111/efp.12242>.
- Naidoo S., Slippers B., Plett J.M., Coles D., Oates C.N. 2019. The Road to Resistance in Forest Trees. *Front. Plant Sci.* 10:273. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00273>.
- Netherer S., Kandasamy D., Jirosová A., Kalinová, B., Schebeck M., & Schlyte, F. 2021. Interactions among Norway spruce, the bark beetle *Ips typographus* and its fungal symbionts in times of drought. *Journal of Pest Science*, 94: 591–614. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01341-y>.
- Patejuk K., Ciesniewska A.B., Kaczmarek Pieniczewska A., Pusz W. 2021. Mycobiota of peat-bog pine (*Pinus × rhaetica*) needles in the Stołowe Mountains National Park, Poland. *Nova Hedwigia* 112: 253–265.
- Roberts M., Gilligan C.A., Kleczkowski A., Hanley N., Whalley A.E., Healey J.R. 2020. The Effect of Forest Management Options on Forest Resilience to Pathogens. *Front. For. Glob. Change* 3:7 <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00007>.
- Romeralo C., Witzell J., Romeralo-Tapia R., Botella L., Diez JJ. 2015 Antagonistic activity of fungal endophyte filtrates against *Gremmeniella abietina* infections on Aleppo pine seedlings. *Eur J Plant Pathol.* 143:691–704. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0719-3>.
- Roos J., Hopkins R., Kvarnheden A., & Dixelius C. 2010. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. *European Journal of Plant Pathology* 129: 9–19. <http://doi.org/10.1007/s10658-010-9692-z>.
- Samils B., & Stenlid J. 2022. A review of biology, epidemiology and management of *Cronartium pini* with emphasis on Northern Europe. *Scandinavian Journal of Forest Research* 37: 153 – 171. <https://doi.org/10.1080/02827581.2022.2085322>.
- Santini A., L. Ghelardini, C. De Pace, M. L. Desprez-Loustau, P. Capretti, A. Chandelier, T. Cech, D. Chira, S. Diamandis, T. Gaitniekis, J. Hantula, O. Holdenrieder, L. Jankovsky, T. Jung, D. Jurc, T. Kirisits, A. Kunca, V. Lygis, M. Malecka, B. Marcais, S. Schmitz, J. Schumacher, H. Solheim, A. Solla, I. Szabò, P. Tsopelas, A. Vannini, A. M. Vettraino, J. Webber, S. Woodward, J. Stenlid. 2013. Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *The New Phytologist* 197: 238–250. <https://www.jstor.org/stable/newphytologist.197.1.238>.
- Stenlid J., Oliva J. 2016. Phenotypic interactions between tree hosts and invasive forest pathogens in the light of globalization and climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 371. <http://doi.org/10.1098/rstb.2015.0455>.
- Skogsstyrelsen 2024. Rapport 2024/06. Skogsskador i Sverige 2023. Temarapport.

Swedish Forest Agency. 2020. Sweden's Forests – Facts and Figures.

Thor M., Möykkynen T., Pratt J., Pukkala T., Rönnerberg J., C. Stenlid J., Ståhl G., Woodward Steve. 2005. Modeling infection and spread of *Heterobasidion annosum* in coniferous forests in Europe. Systems Analysis in Forest Resources: Proceedings of the 2003 Symposium. General Technical Report PNW-GTR-656. Portland.

Trumbore S., Brando P., Hartmann H. 2015 Forest health and global change. *Science* 349: 814–818
<http://doi.org/10.1126/science.aac6759>.

Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R., Huttermann A. 1998. *Heterobasidion annosum*: biology, ecology, impact and control. Cab International, Wallingford UK.



Plantor. Foto: Theres Svensson

2. Skador orsakade av insekter

2.1 Introduktion

Eftersom insekter är växelvarma och små till storleken, är de känsliga för förhöjda temperaturer och förändringar i nederbörd (Harvey et al. 2023). Därför har klimatförändringarna en direkt inverkan på deras utveckling och fortplantning. De påverkas dock även indirekt genom att deras värdväxter och naturliga fiender utsätts för stress och drivs till anpassning. Detta kommer att forma framtidens populationsdynamik, och därmed även hotbilden mot skogliga ekosystem (Klapwijk et al. 2012). En förändrad väderlek kommer dock att påverka olika arter på olika sätt (Klapwijk et al. 2013). Kombinationen av klimatförändringar och fler invasiva insektsskadegörare förväntas skapa allt större utmaningar för skogliga ekosystem (Ramsfield et al. 2016). Här beskrivs de kunskapsluckor i detta fält som skulle kunna förhindra ett välinformerat beslutsfattande. Omfattande kunskap finns redan tillgänglig, men det råder osäkerhet över hur den bäst tillämpas i praktiken för att optimera tillväxt och minimera skogens mottaglighet.

2.2 Använda nya trädslag

Gran och tall har under de senaste årtiondena dominerat produktionen av biomassa. Dock övervägs ett ökat nyttjande av alternativa trädslag, som lärk och björk. Även icke-inhemska arter nämns, som douglasgran och contortatall, mestadels för deras tålighet mot klimatförändringar.

Hur hotet från insekter skulle påverka dessa arter är okänt. Snytbaggen *Hylobius abietis* angriper gran och tall och skulle även ge sig på lärkplantor (Wallertz, Nordenhem & Nordlander 2014). Mer lärkträd skulle också kunna leda till en ökning av två icke-inhemska vedlevande insekter, lärkborre (*Ips cembrae*) och lärkbock (*Tetropium gabrielii*) (Cocos et al. 2024), och även av sydlig lärksäckmal (*Coleophora laricella*), en barrlevande

mal som ses som en skadegörare i andra delar av dess utbredningsområde (Polyakova, Pashenova & Senashova 2020).

Björk är mer utbredd i Sverige och utgör 13 % av alla växande träd (Nilsson et al. 2022). Den kan användas i blandskog tillsammans med gran för att minska skadorna från granbarkborre (*Ips typographus*). En för liten mängd björk (upp till 25 m³/ha) har visats öka risken för angrepp (Kärvemo, Rogell & Schroeder 2014), men en större andel tros leda till minskade förluster (Kärvemo et al. 2014; Müller et al. 2022). Det är dock oklart hur detta skulle påverka hotbilden mot björken själv. Forskningen om insektsskador på björk är mycket begränsad, med undantag för mindre frostfjäril (*Operophtera brumata*) (Tenow et al. 2013). Björk kan också vara värd för björksmalpraktbaggen (*Agrilus anxius*). Både glasbjörk och vårtbjörk tycks helt sakna motståndskraft mot denna angripare, som dock ännu inte påträffats i Europa (Nielsen, Muilenburg & Herms 2011).

2.3 Förädling och förökning av träd

En ekologisk hypotes säger att det finns en ”trade-off” mellan tillväxthastighet och försvarsförmåga, och att snabbväxande växter därför drabbas hårdare av skador från växtätare (He, Webster & He 2022). Detta förefaller vara fallet för gran (Huang et al. 2019), och väcker frågan om ett urval baserat på snabb tillväxt i Sverige idag sker på bekostnad av trädens försvar. Förökningsmetoden verkar också ha betydelse för mottagligheten för angrepp, eftersom granplantor som tillverkats med embryogenes har observerats överleva insektsangrepp oftare (Puentes et al. 2018). Nya tekniker utvecklas för att förädla gran till att bli mindre känslig för sådana skador (Singh et al. 2024). Detta är ett relativt nytt forskningsområde, som tillsammans med genteknik erbjuder möjligheter för framtiden (Naidoo et al. 2019; Pike, Koch & Nelson 2020).

2.4 Framväxande skadegörare

Klimatförändringar och nya former av markanvändning har tillsammans intensifierat insektsangreppen i Europas skogar (Seidl, Schelhaas & Lexer 2011; Tudoran, Marquer & Jönsson 2016). Sverige genomled nyligen sitt hittills största granbarkborreangrepp, som på fyra år utplånade 34 miljoner kubikmeter trä (Schroeder & Kärremo 2022). Trots att *Ips typographus* är en välkänd art har utbrotten visat sig svåra att kontrollera (Seidl et al. 2016; Huang et al. 2020; Netherer & Hammerbacher 2022). För det krävs nya metoder och tekniker, utvecklade med ett holistiskt tankesätt (Hlásny et al. 2021, Singh et al. 2024).

Barrskogsnunnan (*Lymantria monacha*) är naturligt förekommande i Norden, men alla större utbrott har historiskt sett huvudsakligen drabbat Centraleuropa. Nu ökar den i både intensitet och utbredning även i Finland (Melin et al. 2020). Många andra inhemska arter förväntas kunna breda ut sig längre norrut i ett varmare klimat (Robinet & Roques 2010). Det kommer att leda till konkurrens om mat mellan och inom arter, vilket kommer att påverka artbalansen och artsammansättningen i påverkade samhällen (Bulleri, Bruno & Benedetti-Cecchi 2008).

2.5 Främmande insektsarter

Den ökande globala trävaruhandeln, och det utbredda användandet av emballage av trä, har drivit på förflyttandet av arter mellan länder och kontinenter. Det kommer alltid att vara svårt att förutse vilken art som därigenom kommer att kunna etablera sig var och när, men förberedelser baserade på ekologisk kunskap är helt nödvändiga. Sådan kunskap är idag bristfällig. Riskbedömning av karantänskadegörare har dock identifierat åtminstone tolv främmande insektsarter som kan kopplas till handeln med prydnadsväxter och växtdelar, som skulle kunna utgöra allvarliga hot i barrskogar (Marinova-Todorova et al. 2020). Bland de redan etablerade främmande insekter som påverkar svensk skog idag finns liten granbarkborre (*Ips amitinus*), lärkborre (*Ips cembrae*) och lärkbock (*Tetropium gabrielii*)

(Cocos et al, 2023; Cocos et al, 2024). Liten granbarkborre härstammar från Centraleuropa, där den lever på samma träslag som den större granbarkborren (Grodzki 2009; Holuša et al. 2012). Vad effekten skulle kunna bli om arterna överlappar varandra i svensk skog är svårt att förutse, men modelleringsstudier indikerar att den mindre granbarkborren skulle kunna förvärra skadorna efter den störres utbrott (Økland & Skarpaas 2008). Den europeiska importen av nordamerikansk träflis från lövträd utgör en risk. Den skulle kunna introducera invasiva bark- och vedlevande skalbaggar som björk- och smaragdpraktbagge, (*Agrilus anxius* och *A. planipennis*) och den amerikanska almsplintborren (*Hylurgopinus rufipes*). Flisningsprocessen är en effektiv kontrollmetod mot vissa insekter, men inte alltid mot björksmalpraktbagge. Om den finns med i flisen är den mycket svår att upptäcka (Økland, Haack & Wilhelmssen 2012).

2.6 Samhällsstruktur och komplexa ekologiska interaktioner

Klimatförändringarna förväntas påverka diversiteten, utbredningen och sammansättningen av skogens insektssamhällen (Walther 2010). Stigande temperaturer kommer att utvidga många arters utbredningsområden norrut (Pureswaran, Roques & Battisti 2018; Johnson & Haynes 2023). Arter som mindre frostfjäril och fjällhöstmätare (*Epirrita autumnata*) visar redan sådana tecken, vilket kan komma att förvärra omfattningen av lokala utbrott (Jepsen et al. 2008). Lövgnagande insekter som övervintrar som ägg kommer sannolikt att gynnas allra mest av varmare vintrar. När fler ägg överlever förväntas utbrotten bli vanligare (Neuvonen & Viiri 2016). Förändringar i insektssamhällen kan få långtgående konsekvenser för hälsan och skötseln av skogliga ekosystem (Jaworski & Hilszczanski 2013). Ett skifte av skötselmetoder från jämnåriga monokulturer till artblandad eller flerskiktad skog skulle påverka artsammansättningen och mångfalden i dessa samhällen, och därigenom många ekologiska samspel. Vi vet idag lite om vad konsekvenserna av detta skulle bli på lång sikt.

2.7 Trade-offs, synergier och beslutsprocesser

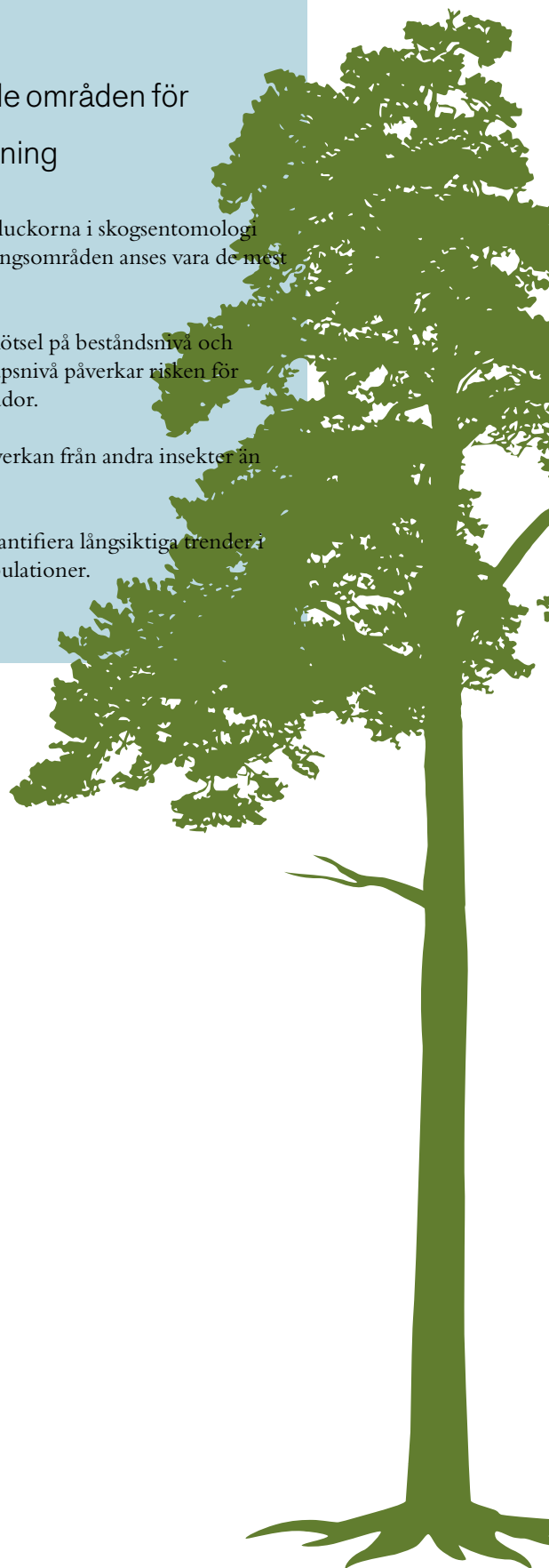
Ett sätt att motverka dessa förändringar i samhällsstrukturen är genom att välja skötselmetoder som aktivt strävar efter diversitet på bestånds- och landskapsnivå. Vi saknar dock kunskap om vilka trade-offs eller synergier i ekonomisk avkastning och ökad motståndskraft som olika skötselmetoder skulle föra med sig. För att bättre förstå framtida hot, måste vi förstå trädens reaktioner på både klimatförändringar och alternativa skötselmetoder, likaväl som interaktionerna mellan träd och insekter, och mellan insekter. Det kommer att kräva en mer holistisk inställning, med fokus på ekosystemfunktioner istället för på enskilda arter. Ett koncept som kan utgöra bas för en sådan inställning är skogshälsa.

Ett sätt att definiera skogshälsa som kombinerar ekosystem- och nyttjandeperspektiven är detta: ”skogshälsa är ett tillstånd hos skogens ekosystem som bibehåller deras komplexitet samtidigt som det kan tillgodose människans behov” (O’Laughlin et al. 1994). Blandskogsbestånd är gynnsamma för många ekosystemtjänster, inklusive tillväxt (Huuskonen et al. 2020), och kalhyggesfritt skogsbruk har visat sig kunna stärka vissa aspekter av den biodiversiteten (Ekholm et al. 2023). För att beslut om skogsskötsel ska kunna stärka skogshälsan måste vi först identifiera de trade-offs och synergier kring tillväxt och diversitet besluten leder till.

2.8 Prioriterade områden för framtida forskning

Baserat på kunskapsluckorna i skogsentomologi kan följande forskningsområden anses vara de mest angelägna:

1. Förstå hur skogsskötsel på beståndsnivå och mångfald på landskapsnivå påverkar risken för insektsrelaterade skador.
2. Kvantifiera skadeverkan från andra insekter än granbarkborre.
3. Identifiera och kvantifiera långsiktiga trender i relevanta insektspopulationer.



Referenser

- Bulleri, F., Bruno, J.F. & Benedetti-Cecchi, L. (2008) Beyond competition: incorporating positive interactions between species to predict ecosystem invasibility. *Plos Biology*, 6, e162.
- Cocos, D., Klapwijk, M.J., Björkman, C., Ravn, H.P. & Schroeder, M. (2024) Factors affecting population density and colonization success of two non-native beetle species with different breeding/life-history strategies. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7, 1506158.
- Ekholm, A., Lundqvist, L., Axelsson, E., Egnell, G., Hjältén, J., Lundmark, T. & Sjögren, J. (2023) Long-term yield and biodiversity in stands managed with the selection system and the rotation forestry system: A qualitative review. *Forest Ecology and Management*, 537.
- Flo, D., Krokene, P. & Økland, B. (2014) Importing deciduous wood chips from North America to northern Europe—the risk of introducing bark- and wood-boring insects. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29, 77–89.
- Grodzki, W. (2009) Entomofauna of dying young spruces *Picea abies* (L.) Karst. in the area after forest decline in the Izerskie Mountains. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*, 51.
- Harvey, J.A., Tougeron, K., Gols, R., Heinen, R., Abarca, M., Abram, P.K., Basset, Y., Berg, M., Boggs, C. & Brodeur, J. (2023) Scientists' warning on climate change and insects. *Ecological Monographs*, 93, e1553.
- He, Z., Webster, S. & He, S.Y. (2022) Growth–defense trade-offs in plants. *Current biology*, 32, R634–R639.
- Hlásny, T., König, L., Krokene, P., Lindner, M., Montagné-Huck, C., Müller, J., Qin, H., Raffa, K.F., Schelhaas, M.-J. & Svoboda, M. (2021) Bark beetle outbreaks in Europe: State of knowledge and ways forward for management. *Current Forestry Reports*, 7, 138–165.
- Holuša, J., Lukášová, K., Grodzki, W., Kula, E. & Matoušek, P. (2012) Is *Ips amitinus* (Coleoptera: Curculionidae) abundant in wide range of altitudes. *Acta Zoologica Bulgarica*, 64, 219–228.
- Huang, J., Hammerbacher, A., Weinhold, A., Reichelt, M., Gleixner, G., Behrendt, T., van Dam, N.M., Sala, A., Gershenson, J. & Trumbore, S. (2019) Eyes on the future—evidence for trade-offs between growth, storage and defense in Norway spruce. *New Phytologist*, 222, 144–158.
- Huang, J., Kautz, M., Trowbridge, A.M., Hammerbacher, A., Raffa, K.F., Adams, H.D., Goodsman, D.W., Xu, C., Meddens, A.J.H., Kandasamy, D., Gershenson, J., Seidl, R. & Hartmann, H. (2020) Tree defence and bark beetles in a drying world: carbon partitioning, functioning and modelling. *New Phytologist*, 225, 26–36.
- Huuskonen, S., Domisch, T., Finér, L., Hantula, J., Hynynen, J., Matala, J., Miina, J., Neuvonen, S., Nevalainen, S. & Niemistö, P. (2020) What is the potential for replacing monocultures with mixed-species stands to enhance ecosystem services in boreal forests in Fennoscandia? *Forest Ecology and Management*, 479, 118558.
- Jaworski, T. & Hilszczanski, J. (2013) The effect of temperature and humidity changes on insects development their impact on forest ecosystems in the context of expected climate change.
- Jepsen, J.U., Hagen, S.B., Ims, R.A. & Yoccoz, N.G. (2008) Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology*, 77, 257–264.
- Johnson, D.M. & Haynes, K.J. (2023) Spatiotemporal dynamics of forest insect populations under climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 56, 101020.

- Kärvemo, S., Rogell, B. & Schroeder, M. (2014) Dynamics of spruce bark beetle infestation spots: Importance of local population size and landscape characteristics after a storm disturbance. *Forest Ecology and Management*, 334, 232–240.
- Kärvemo, S., Van Boeckel, T.P., Gilbert, M., Grégoire, J.-C. & Schroeder, M. (2014) Large-scale risk mapping of an eruptive bark beetle – Importance of forest susceptibility and beetle pressure. *Forest Ecology and Management*, 318, 158–166.
- Klapwijk, M.J., Battisti, A., Ayres, M.P. & Larsson, S. (2012) Assessing the impact of climate change on outbreak potential. *Insect Outbreaks Revisited* (eds P. Barbosa, J.C. Schultz & D. Letourneau), pp. 429 – 450. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- Klapwijk, M.J., Csóka, G., Hirka, A. & Björkman, C. (2013) Forest insects and climate change: long-term trends in herbivore damage. *Ecology and Evolution*, 3, 4183 – 4196.
- Marinova-Todorova, M., Björklund, N., Boberg, J., Flø, D., Tuomola, J., Wendell, M. & Hannunen, S. (2020) Screening potential pests of Nordic coniferous forests associated with trade in ornamental plants. *EPPO Bulletin*, 50, 249–267.
- Melin, M., Viiri, H., Tikkanen, O.-P., Elfving, R. & Neuvonen, S. (2020) From a rare inhabitant into a potential pest – status of the nun moth in Finland based on pheromone trapping.
- Müller, M., Olsson, P.-O., Eklundh, L., Jamali, S. & Ardö, J. (2022) Features predisposing forest to bark beetle outbreaks and their dynamics during drought. *Forest Ecology and Management*, 523, 120480.
- Naidoo, S., Slippers, B., Plett, J.M., Coles, D. & Oates, C.N. (2019) The Road to Resistance in Forest Trees. *Frontiers in plant science*, 10.
- Netherer, S. & Hammerbacher, A. (2022) The Eurasian spruce bark beetle in a warming climate: Phenology, behavior, and biotic interactions. *Bark Beetle Management, Ecology, and Climate Change* (eds K.J.K. Gandhi & R.W. Hofstetter), pp. 89–131. Elsevier.
- Neuvonen, S. & Viiri, H. (2016) Changing Climate and Outbreaks of Forest Pest Insects in a Cold Northern Country, Finland. *UArctic Congress*, pp. 49–59. Saint Petersburg State Univ, St. Petersburg, RUSSIA.
- Nielsen, D.G., Muilenburg, V.L. & Herms, D.A. (2011) Interspecific variation in resistance of Asian, European, and North American birches (*Betula* spp.) to bronze birch borer (Coleoptera: Buprestidae). *Environmental entomology*, 40, 648–653.
- Nilsson, P., Roberge, C., Dahlgren, J. & Fridman, J. (2022) Skogsdata 2022. Tema: Den formellt skyddade skogen. Skogsdata.
- O’Laughlin, J., Ladd, L.R., Ralph, T., P., T.J., E., T.D. & Morelan, L. (1994) Defining and Measuring Forest Health. *Journal of Sustainable Forestry*, 2, 65–85.
- Økland, B., Haack, R.A. & Wilhelmsen, G. (2012) Detection probability of forest pests in current inspection protocols – A case study of the bronze birch borer. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27, 285–297.
- Økland, B. & Skarpaas, O. (2008) Draft pest risk assessment report on the small spruce bark beetle, *Ips amitinus*. Oppdragsrapport fra Skog og Landskap.
- Pike, C.C., Koch, J. & Nelson, C.D. (2020) Breeding for Resistance to Tree Pests: Successes, Challenges, and a Guide to the Future. *Journal of Forestry*, 119, 96–105.
- Polyakova, G., Pashenova, N. & Senashova, V. (2020) Influence of Chronic Partial Defoliation of Larch by Casebearer on the Physiological Parameters of the Stem. *Biology Bulletin*, 47, 49–55.
- Puentes, A., Högberg, K.-A., Björklund, N. & Nordlander, G. (2018) Novel avenues for plant protection: plant propagation by somatic embryogenesis enhances resistance to insect feeding. *Frontiers in plant science*, 9, 1553.

- Pureswaran, D.S., Roques, A. & Battisti, A. (2018) Forest insects and climate change. *Current Forestry Reports*, 4, 35–50.
- Ramsfield, T., Bentz, B., Faccoli, M., Jactel, H. & Brockerhoff, E. (2016) Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry*, 89, 245–252.
- Robinet, C. & Roques, A. (2010) Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, 5, 132–142.
- Schroeder, M. & Kärvmö, S. (2022) Rekordstort utbrott av granbarkborre—orsaker och vad man kan göra. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens TIDSKRIFT*, 7, 16–19.
- Seidl, R., Müller, J., Hothorn, T., Bässler, C., Heurich, M. & Kautz, M. (2016) Small beetle, large-scale drivers: how regional and landscape factors affect outbreaks of the European spruce bark beetle. *Journal of Applied Ecology*, 53, 530–540.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J. & Lexer, M.J. (2011) Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17, 2842–2852.
- Singh, V., Naseer, A., Mogilicherla, K., Trubin, A., Zabihi, K., Roy, A., Jakus, R. & Erbilgin, N. (2024) Understanding bark beetle outbreaks: exploring the impact of changing temperature regimes, droughts, forest structure, and prospects for future forest pest management. *REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY*, 23, 257–290.
- Tenow, O., Nilssen, A.C., Bylund, H., Pettersson, R., Battisti, A., Bohn, U., Carouille, F., Ciornei, C., Csóka, G., Delb, H., De Prins, W., Glavendekic, M., Gninenko, Y.I., Hrasovec, B., Matosevic, D., Meshkova, V., Moraal, L., Netoiu, C., Pajares, J., Rubtsov, V., Tomescu, R. & Utkina, I. (2013) Geometrid outbreak waves travel across Europe. *Journal of Animal Ecology*, 82, 84–95.
- Tudoran, M.-M., Marquer, L. & Jönsson, A.M. (2016) Historical experience (1850–1950 and 1961–2014) of insect species responsible for forest damage in Sweden: Influence of climate and land management changes. *Forest Ecology and Management*, 381, 347–359.
- Wallertz, K., Nordenhem, H. & Nordlander, G. (2014) Damage by the pine weevil *Hylobius abietis* to seedlings of two native and five introduced tree species in Sweden. *Silva Fennica*, 48.
- Walther, G.-R. (2010) Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2019–2024.

3. Skador orsakade av torka och skogsbrand

3.1 Introduktion

Under det gångna årtiondet avtog tillväxten i den svenska skogen, efter nästan hundra år av ständig ökning. Klimatrelaterad torka har pekats ut som den troligaste orsaken (Laudon et al. 2024). Under den långa torkan 2018 drabbades Fennoskandien av de största skogsbränderna i modern tid (SNS 2021). Prognoser pekar på stigande temperaturer och mer frekvent återkommande extremväder i framtiden, vilket troligen kommer att göra torka och skogsbränder vanligare i Sverige. Å andra sidan är skogsbränder en naturlig företeelse i den boreala regionen, och viktiga för ekosystemfunktioner och biodiversitet. Eftersom skogsbränder och torka historiskt sett inte varit ett stort problem för svenskt skogsbruk, saknar vi vetenskaplig och praktisk kunskap om deras funktion och påverkan, och om hur de bäst motverkas. Denna sammanfattning identifierar våra viktigaste kunskapsluckor i denna fråga. En utökad sammanfattning återfinns i Appendix.

Torkan anses ha försämrat tillväxten i den svenska skogen, men orsaken till att den ökat är inte klarlagd. ”Vi har god teoretisk förståelse för hur torka uppstår, men vi saknar kvantitativ kunskap om hur vinterklimat, snösmältning, flöden, marklagring och upptag av träden påverkar varandra och förekomsten av torka”.

Vissa regioner och jordar är mer känsliga, i synnerhet där grundvattnet är lågt och där permeabiliteten är hög, som i sandjordar (Evaristo et al. 2017). Växter i tunna jordlager och i jordar med ett tunt lager organiskt material, som på berg, är också mer drabbade. Tall och björk är bättre rustade att klara torka än granen med sitt ytliga rotsystem (Lagergren and Lindroth 2002). Å andra sidan avdunstar mer vätska från lövträd än från barrträd. ”Vi behöver mer kvantitativ kunskap kring hur trädslag, skogens struktur (täthet, höjd, kronäckning), jordart och väder (på kort och lång sikt), och samspelet mellan dem, påverkar tillgången på vatten och risken för torka.”

3.2 Torka i skogliga ekosystem

Torka definieras här som bristen på tillgängligt vatten i skogliga ekosystem. Den inträffar när grundvatten och vattenreservoarer inte fylls på tillräckligt, och förvärras av låg sommarnederbörd och luftfuktighet (Van Loon 2015). De sydöstra delarna av Sverige är mest känsliga för torka, men under det senaste årtiondet har södra Götaland och Svealand också drabbats. Det är troligt att även andra regioner kommer att få problem i framtiden (SMHI 2024). Det behövs en mer detaljerad analys av risken för torka mellan och inom regioner, samt förbättrade modeller för hur olika klimatscenarier påverkar denna risk. Torka påverkar trädens tillväxt och reproduktion, och ökar sårbarheten för skadegörare. Det leder också till direkt dödlighet och påverkar skogens förmåga att utföra ekosystemtjänster (McDowell et al. 2008).

3.3 Skogsbränder, spridning av brand och biodiversitet

Skogsbränder är viktiga för ekosystemens funktion, föryngring och biodiversitet. Sveriges effektiva brandbekämpning minimerar emellertid den yta som varje år brinner, och därför tillämpas kontrollerad naturvårdsbränning (SNS 2021). På regional nivå korrelerar hög brandrisk fullständigt med hög risk för torka, men på beståndsnivå är riskbilden mer komplex och beror på en kombination av väder, tillgängligt bränsle och mänsklig aktivitet.

Prognoser pekar på att perioder med hög brandrisk kommer att bli betydligt vanligare, särskilt i södra Sverige och längs Norrlandskusten (Berg et al. 2024). Utdragna perioder av låg luftfuktighet i kombination med kraftiga vindar skapar utmärkta förutsättningar för brand. Mer detaljerad riskanalys behövs, i både rum och tid, mellan och inom regioner, för olika klimatscenarier. Risken för "megabränder", som redan inträffar i södra Europa, måste också analyseras. Bränslet i ytlagret (mossa, lavar, ris, gräs, förna) är den viktigaste faktorn för eldens antändning och spridning. Risken för att den utvecklas till kronbrand beror på skogens trädslagsblandning, beståndets ålder, och skogens struktur, faktorer som även har stor betydelse för hur brandens spridningshastighet och intensitet varierar på landskapsnivå (Bohlin 2024).

Trots att vi har en god kännedom om vilka riskfaktorerna är för brand i Fennoskandiska skogar, saknar vi kvantitativa kunskaper om hur antändning och spridning påverkas av skogens egenskaper, landskapets utformning, bränsletillgång och väderlek. Sådan kunskap är nödvändig för att vi ska kunna modellera brandrisk och ge rekommendationer därefter. Skogsbränder skapar särskilda habitat och påverkar skogens successionsordning, och gynnar arter som särskilt anpassats till återkommande bränder. Därför är bränder viktiga för biodiversiteten (Kelly et al, 2020). Många arter är också beroende av att bränder bidrar till bildandet av rätt markförhållanden, sammansättning av växtarter, och tillräcklig åtkomst på död ved.

Successionsordningen efter en skogsbrand är väl studerad, men brandens effekt på enskilda arter behöver utforskas. Vi vet heller inte hur variationer i brändernas utbredning och frekvens påverkar biodiversiteten. Mer forskning behövs för att hitta de mest välgörande och optimala restaureringsmetoderna när natuvårdsbränderna implementeras.

3.4 Motverka torka och skogsbrand genom skötselåtgärder

Torka kan motverkas med skötselåtgärder (Skogsstyrelsen 2019). Gran och björk bör till exempel inte planteras på torra jordar, berg eller sluttningar; där är tall bättre lämpad. Blandade bestånd kan vara mindre utsatta. Riskerna kan minskas genom markbearbetning och lägesanpassning i samband med förnygringsplantering, och i redan etablerade bestånd genom gallring (Aldea et al. 2024). Vi har viss insikt i hur skötselmetoder kan användas för att minska risken för torka, men vi behöver mer kvantitativ kunskap om effekten av trädslagsblandning, gallringsintensitet, dikning och alternativa skötselmetoder. Skadorna kan också motverkas genom att använda torkresistent växtmaterial, men vi saknar grundläggande kunskap och erforderliga redskap för att uppskatta dessa egenskaper hos träden, och vi vet heller inte hur sådan resistens påverkar tillväxten.

Brandrisk kan också begränsas genom att påverka tillgången på bränsle (Bohlin 2024). Kortsiktiga metoder kan innefatta röjning längs skogsbilvägar eller att avlägsna hyggesrester, och mer långsiktiga att gynna lövträd, bevara nätverket av skogsbilvägar, restaurera och bevara våtmarker och skapa varierade skogslandskap. Även om vi har god teoretisk kunskap om dessa metoder, saknar vi kvantitativa värden på effekten, som till exempel hur stor andel lövträd som behövs i barrskog för att risken för antändning eller spridning ska minska.

3.5 Modellering och kartläggning av risken för och effekten av torka och brand

Beslutsfattandet i skogsförvaltningen och utformandet av regelverk behöver stöd av modeller och redskap. Många av dagens modeller används i stödsystem som Heureka (Lämås et al. 2023), som baseras på skogens historiska utveckling. De är dåligt lämpade för att beskriva utvecklingen i ett förändrat klimat eller med nya förvaltningsmål. *Vi saknar redskap för att förutse och simulera risk och effekt av torka och brand, som tar hänsyn till variationer i tid och rum under olika klimatscenarier och olika skötselstrategier, samt till andra skadegörare och abiotiska skadefaktorer.* Fjärranalys har gjort det möjligt att kostnadseffektivt uppskatta olika skogliga variabler, skador och risker över stora områden (Lindberg et al. 2023), *men vi saknar modeller och applikationer som tar hänsyn till torka och brand. Vi behöver mer kunskap om hur data från fjärranalys kan användas för att uppskatta torkskador och för att identifiera de områden som är mest sårbara för torka och brand.*

3.6 Trade-offs, synergier och beslutsprocesser

Hållbar skogsskötsel ska ta hänsyn till många olika mål, som timmerproduktion, biodiversitet, rekreation och kolinlagring, och samtidigt ta höjd för skogshälsa och risk för skador i ett föränderligt klimat. Metoder för att begränsa skador kan appliceras separat eller i kombination, och samtidigt verka för att uppfylla målen.

Till exempel kan ett gynnande av lövträd vara positivt för både biodiversitet och för brandskydd (Felton et al. 2024). *Vi saknar kunskap om trade-offs och synergier mellan olika åtgärder för skydd mot brand och torka, och mellan åtgärder och olika förvaltningsmål eller andra scenarier, som angrepp från skadegörare.* Exempelvis kan mer intensiv gallring reducera torkskador, men också minska avkastningen, eller öka förekomsten av rotröta. När är det klokt att gallra hårdare, och när är det klokt att låta bli?

Eller, hur balanserar vi de positiva (biodiversitet) och de negativa (förlust av biomassa) effekterna av skogsbränder?

Vi vet för lite om hur riskerna för brand, torka och andra skadefaktorer påverkar skogsägarnas beslutsfattande under olika klimat- och skötselscenarier. Att ta sig an dessa kunskapsluckor kommer att kräva flera tvärvetenskapliga projekt som särskilt undersöker trade-offs, kopplar riskhantering till förvaltningsmål, och studerar hur kunskap effektivt kan utbytas och omsättas i praktik.

3.7 Prioriterade områden för framtida forskning

Baserat på de kunskapsluckor som beskrivits, kan följande områden anses vara de mest angelägna att hantera:

1. Beräkna hur skogsegenskaper, skötselmetoder och väderförhållanden påverkar brand- och torkdynamik i Sverige.
2. Utveckla modeller och metoder för att bedöma risk för torka och brand på sätt som kan integreras i beslutsstödsystem som Heureka, och användas för att kartlägga sådana risker på lokal, regional och nationell nivå.
3. Analysera trade-offs och synergier mellan olika åtgärder för att hantera tork- och brandrisk, och deras relation till förvaltningsmål och andra skadefaktorer.

Tack

Jag vill tacka SLUs forskare Hjalmar Laudon, Anders Granström, Anne-Maarit Hekkala, Rosario Garcia Gil och Emma Holmström för deras inspel, vilka har hjälpt mig att identifiera dessa kunskapsluckor. Jag vill också tacka alla som medverkade i gruppdiskussionen om analys av kunskapsluckor vid Skogsskadecentrumkonferensen i januari 2025.





Referenser

Aldea, J., Dahlgren, J., Holmström, E., & Löf, M. (2024). Current and future drought vulnerability for three dominant boreal tree species. *Global Change Biology*, 30(1), e17079. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.17079>

Berg, P., Bozhinova, D., Böhlin, J., Gustafsson, D., Jansson, A., Schützer, S., Klehmet, K., Landelius, T., Schimanke, S., & Yang, W. (2024). Framtida brandrisk – förändringar i perioder av hög brandrisk enligt FWI-modellen (MSB2301 – mars 2024). (MSB). <https://rib.msb.se/filer/pdf/30619.pdf>

Bohlin, I. (2024). Policy brief: Mitigating forest fires in the Nordic region through forest management. Nordic Forest research (SNS). <https://nordicforestresearch.org/wp-content/uploads/2024/08/PB-2024-Eng-1.pdf>

Evaristo, J., & McDonnell, J. J. (2017). Prevalence and magnitude of groundwater use by vegetation: a global stable isotope meta-analysis. *Scientific Reports*, 7(1), 44110. <https://doi.org/10.1038/srep44110>

Felton, A., Belyazid, S., Eggers, J., Nordström, E.-M., & Öhman, K. (2024). Climate change adaptation and mitigation strategies for production forests: Trade-offs, synergies, and uncertainties in biodiversity and ecosystem services delivery in Northern Europe. *Ambio*, 53(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01909-1>

Kelly, L. T., Giljohann, K. M., Duane, A., Aquilué, N., Archibald, S., Batllori, E., Bennett, A. F., Buckland, S. T., Canelles, Q., Clarke, M. F., Fortin, M.-J., Hermoso, V., Herrando, S., Keane, R. E., Lake, F. K., McCarthy, M. A., Morán-Ordóñez, A., Parr, C. L., Pausas, J. G., . . . Brotons, L. (2020). Fire and biodiversity in the Anthropocene. *Science*, 370(6519), eabb0355. <https://doi.org/doi:10.1126/science.abb0355>

- Lagergren, F., & Lindroth, A. (2002). Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 112(2), 67-85. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00060-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00060-6)
- Laudon, H., Mensah, A. A., Fridman, J., Nasholm, T., & Jamtgard, S. (2024). Swedish forest growth decline: A consequence of climate warming? *Forest Ecology and Management*, 565, 3, Article 122052. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122052>
- Lindberg, E., Bohlin, I., Bohlin, J., Fransson, J. E. S., Huo, L., Nilsson, M., Persson, H. J., & Wallerman, J. (2022). Potential of mapping forest damage from remotely sensed data. Report. SLU. <https://res.slu.se/id/publ/121176>
- Lämås, T., Sängstuvall, L., Öhman, K., Lundström, J., Årevall, J., Holmström, H., Nilsson, L., Nordström, E.-M., Wikberg, P.-E., Wikström, P., & Eggers, J. (2023). The multi-faceted Swedish Heureka forest decision support system: context, functionality, design, and 10 years experiences of its use. *Frontiers in Forests and Global Change*, 6. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1163105>
- McDowell, N., Pockman, W. T., Allen, C. D., Breshears, D. D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D. G., & Yezpez, E. A. (2008). Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, 178(4), 719-739. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02436.x>
- Skogsstyrelsen. (2019). Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder, RAPPORT 2019/23, Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelse.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2019-23-klimatanpassning-av-skogen-och-skogsbruket.pdf>
- SMHI. (2024, 13 december 2024). Risken för torka och låg vattentillgång förändras i varmare klimat. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/sjoar-och-vattendrag-i-varmare-klimat/risken-for-torka-och-lag-vattentillgang-forandras-i-varmare-klimat>
- SNS. (2021). Knowledge compilation on Forest fires in the Nordic region. Report. <https://nordicforestresearch.org/wp-content/uploads/2021/10/rapport-210928-2.pdf>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2(4), 359-392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wat2.1085>

4. Klövviltets inverkan

- på skogsekosystem, skogshälsa och skogsbruk

4.1 Bakgrund

Älgens betning av tall påstås ofta vara en av de mest begränsande faktorerna för skogsbruket i Skandinavien. Betesskador bedöms årligen kosta svenskt skogsbruk flera miljarder kronor (Skogsstyrelsen, 2019), men de olika skattningarna skiljer sig åt med nästan en tiopotens. Samtidigt ger starka klövviltstammar även betydande ekosystemtjänster, t.ex. i form av viltkött och rekreationsvärden för såväl jägare som andra naturintresserade. Jägarna själva värderar ekosystemtjänster från jakt till mer än 6 miljarder kronor årligen, varav ungefär 40 % kommer från älgen (Widemo et al, 2019). Andra kulturella ekosystemtjänster, som rekreationsvärden som fås genom naturturism, är svårare att kvantifiera.

Sveriges klövviltsamhällen förändras, delvis till följd av klimatförändringarna. Detta kräver en förvaltning som hanterar flera hjortdjursarter samtidigt och som samordnas med skogsskötseln, med stöd av bättre system för styrning och övervakning (Cromsigt et al, 2023). Trots hundratals publicerade artiklar från Skandinavien, främst om älgens betning av tall, saknar vi den kvantitativa förståelse som krävs för att göra goda avvägningar. Även om Sverige har den kanske mest formaliserade älgförvaltningen i världen, är vi långt ifrån att uppnå dess mål.

4.2 Översikt av begränsningar

Betning påverkar skogsbruket på flera sätt, vilka utvecklas närmare nedan:

1. Tillväxt och virkeskvalitet. Skador i ungskogen minskar framtida tillväxt och timmerkvalitet.
2. Beståndssammansättning. Betning av tall och andra smakliga arter kan gynna gran eller mindre föredragna trädslag.

3. Övervakning och beslutsstöd. Lång omloppstid gör att effekter syns sent och är svåra att kvantifiera, vilket skapar osäkerhet i förvaltningen.

4. Skogsvårdsmetoder. Risken för betesskador påverkar skogsägarnas val av förnyrningsstrategier.

5. Biologisk mångfald och kolinlagring. Betestryck kan gynna biodiversitet men även påverka klimatreglerande funktioner som kolinlagring

4.3 Tillväxt och virkeskvalitet

Älgens bete på tall står för den största delen av klövviltets skador på skog, men även kronhjortens barkskador på gran har vuxit i takt med att kronhjorten expanderat norrut (Månsson och Jarnemo, 2013). De och alla andra hjortdjur konkurrerar om samma föda i faltskiktet (t.ex. ljungväxter, som bärris), och om den utarmas ökar betestrycket på rekryterande träd (Spitzer et al, 2021). Därför uppstår skogsskador orsakade av vilt framför allt i ungskogsfasen (Pfeffer et al, 2020). I den svenska samförvaltningen av vilt och skog registreras idag emellertid endast skador som påverkar virkeskvaliteten. Effekter på tillväxt övervakas inte. Vår kunskap om dem bygger enbart på enskilda forskningsstudier som saknar kontinuitet och nationell täckning. De faktiska kostnaderna faller dessutom ut först flera decennier senare och är därför svåra att beräkna.

Vi saknar idag kvantitativa värden för hur betestrycket begränsar timmerkvalitet, tillväxt och avkastning (Persson et al, 2007) i de framtida bestånden. Betestrycket kommer dessutom att förändras i takt med att klövviltets populationstätheter och skogsskötselmetoderna ändras.

4.4 Beståndssammansättning

Fysisk skada på enskilda produktionsstammar är dock inte den enda konsekvensen av hårt betestryck. Samma processer kan också förändra den framtida beståndssammansättningen. Trädslag som rönn, asp, sälg och ek (Skogsstyrelsen, 2022) är viktiga för biologisk mångfald, men missgynnas eftersom de är smakliga för klövdjuret. Björk väcker ett stigande intresse som produktionssträdslag, men hur bete kan begränsa tillväxten har inte fått tillräckligt med uppmärksamhet.

När den planterade tallen betas ner kan skogen istället komma att domineras av självföryngrad gran (Felton et al, 2020). Det kan visserligen leda till att beståndet får en acceptabel framtida avkastning trots högt betestryck, men skogsägaren blir utan ekonomisk avkastning för sin investering i form av tallplantering. Granbestånd på platser mer lämpade för tall ökar dessutom risken för sämre tillväxt, och för torka, skadedjur, stormskador eller skogsbrand.

Akkumulerande förändringar i sammansättningen av bestånden måste studeras parallellt med hur skador ackumuleras för att förstå och förutsäga effekterna av betestrycket.

4.5 Övervakning av skador

Förvaltning av skogar kräver ett långsiktigt perspektiv, eftersom tidigare investeringar ger avkastning först i slutet av omloppstiden. På samma sätt realiserar betesskador först decennier efter att de uppkommit, i form av minskad avkastning. För tall är omloppstiden 80–100 år i södra Sverige, och bestånd som föryngrades under det älgåttade tidiga 1980-talet är därmed fortfarande i gallringsfasen. Senare uppstod mer komplexa klövviltssamhällen med älg, rådjur, kronhjort och dovhjort i konkurrens med varandra. De bestånd som utsatts för detta komplexa betestryck är ännu unga, och alla uppskattningar av hur sådana klövviltssamhällen begränsar skogsbruket bygger därför på framskrivningar långt in i framtiden. Sådana modeller baseras på bakgrundsdata från klövviltssamhällen bestående av enbart älg och rådjur, från 40 år sedan.

Förutsägelser om betestryckets effekt på framtida avkastning är därför osäkra. Om vi bortser från dessa effekter tills de manifesterar sig, kan vi dock få lida av konsekvenserna i decennier.

Betesskador från älg på tall mäts med den standardiserade ÄlgBetesINventeringsmetoden ÄBIN i höjdintervallet 1–4 meter (Skogsstyrelsen, ÄBIN). Ett av de styrande målen inom älgförvaltningen är att andelen årsskador på tall inte får överskrida 5 % på goda och medelgoda boniteter, respektive 2 % på svaga boniteter. Förvaltningsmålet är dock satt utan hänsyn till sammansättningen i skogsbestånden. För att förstå och utvärdera betestryckets effekter måste de relativa skadenivåerna sättas i relation till andelen produktionsstammar som utgörs av tall. Till exempel skulle ett årsgenomsnitt på 20 % skadade tallstammar i ett område där alla bestånd består av 90 % gran och 10 % tall innebära att bara 2 % av alla stammar är skadade. Om samma antal tallar istället var fördelade i form av 10 % rena tallbestånd skulle den lokala effekten vara 20 % skadade träd. Därutöver kommer en hög skadeandel på vad som kan vara ett ovanligt trädslag på landskapsnivå ge en oriktig bild av i vilken utsträckning skadorna begränsar skogsbruket. Vidare har ÄBIN-mätningar visat stor slumpmässig variation mellan år, vilket väckt frågor om giltigheten i att basera förvaltningsbeslut om älgstammen enbart på sådana (Widemo et al, 2022, 2025).

Det är svårt att fastställa andelen eller antalet viltskadade stammar efter att beståndet har vuxit ut ur betesfönstret, eftersom det ofta är omöjligt att identifiera vad som orsakat skador som inträffade för mer än ett decennium sedan. Därför är det nödvändigt att följa stammar och bestånd årligen när de passerar genom betesfönstret för att korrekt kunna bestämma andelen ackumulerade skador från klövvilt. Detta är alltför resurskrävande för att utföras regelmässigt inom förvaltningen. Det sker dock dels inom Riksskogstaxeringen samt nu med större detaljupplösning i en latitudgradient inom ramen för övervakningsprogrammet Balanserade klövviltstammar som finansieras av Skogsskadecentrum vid SLU.

4.6 Effekter på val av skogsvårdsmetoder

Vid förnygring bör valet av träslag avgöras av markens produktivitet och skogsägarens preferenser, om inte andra begränsande faktorer föreligger. För närvarande skiftar fokus mot alternativa skogsvårdsmetoder som blandbestånd och kontinuitetsskogsbruk, men hur betetrycket påverkas av sådana förändringar har inte undersökts. Därmed uppstår frågan: vad är det optimala valet för skogsägare, och i vilken grad skiljer sig detta beroende på individuella preferenser och vilken typ av landskap man bedriver sitt skogsbruk i? Valet mellan olika strategier inom skogsförvaltning kräver kunskap, tid och resurser.

Omvänt kan den uppfattade risken för betesskador påverka skogsägarens val av skötselmetoder, inklusive träslag för förnygring (Felton et al, 2020). Det krävs både ekologiska studier och studier av skogsägares attityder och beteenden för att bedöma kostnaderna för ändrade skötselstrategier (Fishbein och Ajzen, 2005). Sådan kunskap är viktig för att göra informerade val och ge råd inom skogsvård.

4.7 Biologisk mångfald och kolinlagring

Betetryck är en form av störning som medför begränsningar i fiberproduktionen, men det kan också ha positiva effekter på den biologiska mångfalden (Faison et al, 2016; Hegland et al 2013). Detta ställer krav på avvägningar inom samförvaltningen. Därutöver kan betetrycket även påverka kolinlagringen ovan och under mark, samt albedo, det vill säga hur mycket av solens energi som reflekteras från marken (Petersen et al, 2023). Det finns stora luckor i bilden av hur betetrycket påverkar den biologiska mångfalden och klimatet i boreala skogsekosystem, samt vilka avvägningar som behöver göras och vem som ska göra dem.

4.8 Prioritetsområden

Baserat på de kunskapsluckor som här beskrivits, kan följande forskningsområden anses vara de mest angelägna att hantera:

1. Kvantifiera hur betetrycket påverkar sammansättningen i framtida bestånd
2. Kvantifiera hur olika nivåer av betesskador i ungskog begränsar avkastningen senare under omloppstiden



Foto: Pixabay

Referenser

- Bergqvist, G., Bergström, R. & L. Edenius. 2003. Effects of moose (*Alces alces*) rebrowsing on damage development in young stands of Scot's pine (*Pinus silvestris*). *Forest Ecology and Management* 176: 397–403.
- Cromsigt, J., Dressel, S., Ericsson, G., Felton, A., Johansson, M., Neumann, W., Pfeffer, S., Sandström, C., Singh, N., Sjölander-Lindqvist, A., Spitzer, R., Widemo, F. & A. Widén. 2023. Adaptiv sam- och flerartsförvaltning av klövvilt. Gemensam rapport för forskningsprojekten Beyond Moose och Governance. Naturvårdsverkets rapportserie 7108. <https://www.naturvardsverket.se/49bec9/globalassets/media/publikationer-pdf/7100/978-91-620-7108-0.pdf>
- Faison, E.K., DeStefano, S., Foster, D.R., Motzkin, G. & J. M. Rapp. 2016. Ungulate browsers promote herbaceous layer diversity in logged temperate forests. *Ecology and Evolution*, 6 (13), 4591–4602. <https://doi.org/10.1002/ece3.2223>
- Felton, A., Petersson, L., Nilsson, O. Adam Felton, Lisa Petersson, Oscar Nilsson, Witzell, J., Cleary, M. Felton, A.M., Björkman, C., Ode Sang, Å., Jonsell, M., Holmström, E., Nilsson, U., Rönnberg, J., Kalén, C., & M. Lind-bladh. 2020. The tree species matters: Biodiversity and ecosystem service implications of replacing Scots pine production stands with Norway spruce. *Ambio* 49, 1035–1049 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01259-x>
- Fishbein M. & I. Ajzen. 2005. The influence of attitudes on behavior. *The handbook of attitudes*, pp. 173–222.
- Hegland, S.J., Lilleeng, M.S. & S. R. Moe. 2013. Old-growth forest floor richness increases with red deer herbivory intensity. *Forest Ecology and Management*, 310, 267–274. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.031>
- Månsson, J. & A. Jarnemo. 2013. Bark-stripping on Norway spruce by red deer in Sweden: level of damage and relation to tree characteristics. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(2): 117–125. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.701323>
- Persson, I.L., Bergström, R. & K. Danell. 2007. Browse biomass production and regrowth capacity after bio-mass loss in deciduous and coniferous trees: responses to moose browsing along a productivity gradient. *Oikos* 116: 1639–1650
- Petersen, T.K., Kolstad, A. L., Kouki, J., Leroux, S.J., Potvin, L.R., Tremblay, J.P., Wallgren, M., Widemo, F., Cromsigt, J.P.G.M., Courtois, C., Austrheim, G., Gosse, J., den Herder, M. Hermanutz, L. & J. D. M. Speed. 2023. Airborne laser scanning reveals uniform responses of forest structure to moose (*Alces alces*) across the boreal forest biome. *Journal of Ecology* 00: 1–15. doi.org/10.1111/1365-2745.14093
- Pfeffer, S. E., Singh, N. J., Cromsigt, J. P. G. M., Kalén, C. & F. Widemo. Predictors of deer damage on commercial forestry – a study linking management data. *Forest Ecology & Management* 479. doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118597
- Pfeffer, S.E., Singh, N.J., Cromsigt, J.P.G.M., & Widemo. 2021. Summer and winter browsing affect conifer growth differently: an experimental study in a multi-species ungulate community. *Forest Ecology and Management* 494: 119314. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119314>
- Skogsstyrelsen. 2019. Skogsbrukets kostnader för viltskador. Återrapportering till regeringen. Skogsstyrelsens Rapport 2019/16.
- Skogsstyrelsen. 2022. Levande skogar– Fördjupad måluppföljning 2023. Skogsstyrelsens rapport 2022/12. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2022-12-levande-skogar---fordjupad-utvardering-2023.pdf>
- Skogsstyrelsen. Älgbetesinventeringen ÄBIN. <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/abin-och-foderprognos/>

Spitzer, R., Coissac, E., Felton, A.M., Fohringer, C., Landman, M., Singh, N.J., Taberlet, P., Widemo, F. & J.P.G.M. Cromsigt. 2021. Small shrubs with large importance? Smaller deer may increase the moose-forestry conflict through feeding competition over *Vaccinium* shrubs in the field layer. *Forest Ecology and Management* 480 118768. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118768>

Widemo, F., Elmhagen, B. & N. Liljebäck. 2019. Viltets ekosystemtjänster – en kunskapssammanställning till stöd för värdering och förvaltning. 163 sidor. Naturvårdsverkets rapportserie.

Widemo, F., Leonardsson, K. & G. Ericsson. 2022. Samförvaltning av älg och skog – analyser av den nya älg-förvaltningen under perioden 2012–2021. Naturvårdsverkets rapport 7044. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7044-1/>.

Widemo, F., Leonardsson, K., Ó Cuív, C., Anderson, J. & C. Berndt. 2025. Utvärdering av målen inom den svenska älgförvaltningen. Rapport Skog 2025: 2. SLU.



Foto: Jenny Svenmås-Gillner

Del 2. Kvantitativa modeller för bedömning av skogsskador

Denna del diskuterar två olika tillvägagångssätt för att modellera aktiviteter i skogsbruket. Den första rör skoglig planering och modeller för beslutsstödssystem. Den andra fokuserar på modeller för skogsägarnas beslutsfattande och beteende, och på att integrera dessa med skogsindustrin.

5. Risk- och konsekvensanalyser med Heureka

5.1 Bakgrund

Den svenska skogen står inför många utmaningar. Klimatförändringarna kommer att påverka temperatur, nederbörd, näringsomsättning och artsammansättning, vilket skapar nya förutsättningar för framtidens skogsekosystem. Naturliga skador är en del av skogens utveckling och i sig inget negativt (Johnstone et al., 2016), men klimatförändringarna ökar omfattningen och intensiteten av flera störningsfaktorer (Thom and Seidl, 2016). Eftersom majoriteten av Sveriges skogar domineras av ett enda trädslag, är de särskilt känsliga för förändringar (Felton et al., 2024).

Samtidigt som dessa utmaningar ska hanteras behöver skogen och skogsbruket uppfylla andra mål från samhället i stort och skogsägarna själva. Skogen förväntas leverera virke och andra träprodukter, värna biologisk mångfald, binda in kol, ge möjlighet till renskötsel och erbjuda rekreationsområden. Att balansera dessa olika mål kommer att bli än mer komplext i en svårförutsägbar framtid. Det är därför beslutsstödsverktyg är så viktiga – de kan hjälpa skogsägare och andra aktörer att testa olika skötselstrategier och undersöka hur olika alternativ påverkar skogens tillväxt, hälsa och motståndskraft på lång sikt. Genom att använda vetenskapligt utvecklade modeller och data från olika källor (fjärranalys, riksskogstaxeringen, andra inventeringar etc.) kan beslutsstödsverktyg bidra till välgrundade beslut i en osäker framtid.

5.2 Luckor

Osäkerheten kring klimatförändringarnas konsekvenser är stor. Vi vet inte hur olika trädslag kommer att växa, vilka som kommer vara mest lämpliga att föryngra med, eller exakt hur artsammansättningen kommer att förändras. Träd som planteras idag är sannolikt inte de bäst anpassade för samma plats i framtiden (Wessely et al., 2024). På grund av att vi inte har modeller som tar hänsyn till detta kan beslutsstödsystemet Heureka i dagsläget inte fullt ut hantera klimatförändringarnas effekter.

Vi saknar också kvantitativ fördjupad kunskap om hur skogen kommer att utvecklas om den brukas med nya skötselstrategier i ett förändrat klimat. Dagens modeller kan inte hantera dessa frågor tillfredsställande.

En annan utmaning är att förstå och kvantifiera hur skador som stormar, skadeorganismer eller torka påverkar skogen. Det finns modeller som uppskattar dödlighet och minskad tillväxt efter skada, men de kan förbättras avsevärt. Slutligen förstår vi inte fullt ut hur en typ av skada påverkar risken för en annan. Stormskador kan öka risken för svampangrepp (och vice versa), och torkstress gör träd mer mottagliga för granbarkborre, men vi vet inte hur mycket eller vilka andra faktorer som också påverkar effekten av skadorna.

Med dessa stora osäkerheter i åtanke är det rimligt att planera skogsbruket genom att tänka i termer av motståndskraft och variation, alltså att sprida riskerna. Detta gynnar även den biologiska mångfalden och flera ekosystemtjänster såsom rekreation och kolinlagring.

5.3 Heureka

Skoglig planering kan definieras som processen att bestämma var och när en specifik skötselåtgärd ska genomföras för att skogsägarens mål ska uppnås, och samtidigt säkerställa en god samordning av åtgärderna. För att kunna planera för framtiden behöver vi modeller som kan simulera skogens utveckling över tid, och som ger oss möjlighet att studera olika framtidsscenarier och konsekvenserna av olika strategier. Denna process kan underlättas av ett beslutsstödsystem.

Heureka är Sveriges mest använda beslutsstödsystem för skoglig planering, och har idag kapacitet att simulera hur skogar växer och utvecklas (Lämås et al., 2023). Systemet bygger på modeller som beskriver beståndsetablering, diameter och höjdtillväxt, inväxning och mortalitet (Fahlvik et al., 2014; Fridman and Ståhl, 2001; Wikberg, 2004).

Dagens modeller baseras emellertid på det klimat som rådde under 1980- och 90-talet, och är således inte anpassade till det nya klimatet. För att ta höjd för klimatförändringarna behövs nya processbaserade tillväxtmodeller, som utgår från funktioner som beskriver de mekanismer som driver utvecklingen, snarare än historiska data. Alternativt behövs en kombination av en processbaserad klimatmodell och en empirisk skogstillväxtmodell (en så kallad hybridmodell). I dagsläget är det möjligt att använda resultat från den processbaserade vegetationsmodellen BIOMASS (McMurtrie et al., 1990) för att justera de empiriska tillväxtfunktionerna i Heureka enligt klimatscenarierna ECHAM5_A1B, MPI 4.5 och MPI 8.5 (Freeman, 2009). Det pågår arbete med att utveckla nya hybridmodeller, bland annat mellan 3PG och Heureka (Subramanian et al., 2019) samt ForSafe (Wallman et al., 2005) och Heureka.

Ett annat problem är att Heureka inte beaktar den ökade risken för skador i det nya klimatet. När Heureka idag simulerar skogens tillväxt används mortalitetsfunktioner, vilket innebär att träd antas dö. Men modellerna specificerar inte dödsorsakerna, utan utgår från genomsnittliga mortalitetsnivåer. Storskaliga störningar som stormar, bränder eller insektsutbrott ingår inte.

Dessa effekter behöver integreras i analyserna. I dagsläget är storm den enda storskaliga störning där konsekvenserna kan modelleras direkt.

Genom att analysera hur skador har påverkat skogen tidigare kan man göra antaganden om framtiden, men att t.ex. stormar skulle inträffa med samma frekvens och intensitet som tidigare är osäkert. Att modellera skador från insekter och svampar, som påverkas av intrikata ekologiska samband, är ännu mer komplext, men det finns enklare modeller som kan uppskatta risken för rotröta, och ett riskindex för granbarkborre.

Heureka kan också ta hänsyn till stressfaktorer som viltbete, frost och snöbrott.

På europeisk nivå finns det flera modeller som kan skatta sannolikheten för olika skogsskador, men betydligt färre kan skatta effekterna (Machado Nunes Romeiro et al., 2022). Det behövs nya modeller anpassade efter svenska förhållanden, som kan simulera olika skadefaktorerers direkta påverkan på trädens tillväxt och överlevnad. De skulle göra det möjligt att anpassa skötseln för att minimera sannolikheten för stora skadeutbrott.

5.4 Prioriterade områden för framtida forskning

Baserat på de kunskapsluckor som beskrivits här, kan följande områden anses vara de mest relevanta att hantera:

1. Utveckla modeller för riskbedömning av skador under alternativa skötselstrategier.
2. Utveckla riskindex för olika skogsskador, samt för skogens motståndskraft, vilket skulle kunna användas för att utvärdera skogens förmåga att hantera flera skadefaktorer samtidigt.
3. Förbättra Heurekas stormmodeller genom att inkludera orografiska egenskaper (vindriktning, lutning) och möjliggöra stokastisk optimering för att kunna hantera slumpmässiga händelser som t.ex. storm.

Referenser

- Fahlvik, N., Elfving, B., Wikström, P., 2014. Evaluation of growth functions used in the Swedish Forest Planning System Heureka. *Silva Fenn.* 48, 1–17. <https://doi.org/10.14214/sf.1013>
- Felton, A., Seidl, R., Lindenmayer, D.B., Messier, C., Löf, M., de Koning, J.H.C., Ranius, T., Cleary, M., Hedwall, P.-O., Torres García, M.T., Felton, A.M., 2024. The choice of path to resilience is crucial to the future of production forests. *Nat. Ecol. Evol.* 8, 1561–1563. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02473-x>
- Freeman, M., 2009. “Impact of climate on tree growth”, in The Heureka research programme. Final report for phase 2, October 2005 – September 2009.
- Fridman, J., Ståhl, G., 2001. A Three-step Approach for Modelling Tree Mortality in Swedish Forests. *Scand. J. For. Res.* 16, 455–466. <https://doi.org/10.1080/02827580152632856>
- Johnstone, J.F., Allen, C.D., Franklin, J.F., Frelich, L.E., Harvey, B.J., Higuera, P.E., Mack, M.C., Meentemeyer, R.K., Metz, M.R., Perry, G.L., Schoennagel, T., Turner, M.G., 2016. Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Front. Ecol. Environ.* 14, 369–378. <https://doi.org/10.1002/fee.1311>
- Lämås, T., Sängstuvall, L., Öhman, K., Lundström, J., Årevall, J., Holmström, H., Nilsson, L., Nordström, E.-M., Wikberg, P.-E., Wikström, P., Eggers, J., 2023. The multi-faceted Swedish Heureka forest decision support system: context, functionality, design, and 10 years experiences of its use. *Front. For. Glob. Change* 6. <https://doi.org/DOI:10.3389/ffgc.2023.1163105>
- Machado Nunes Romeiro, J., Eid, T., Antón-Fernández, C., Kangas, A., Trømborg, E., 2022. Natural disturbances risks in European Boreal and Temperate forests and their links to climate change – A review of modelling approaches. *For. Ecol. Manag.* 509, 120071. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120071>
- McMurtrie, R.E., Rook, D.A., Kelliher, F.M., 1990. Modelling the yield of *Pinus radiata* on a site limited by water and nitrogen. *For. Ecol. Manag., Management of water and nutrient relations to increase forest growth* 30, 381–413. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(90\)90150-A](https://doi.org/10.1016/0378-1127(90)90150-A)
- Subramanian, N., Nilsson, Urban, Mossberg, Magnus, and Bergh, J., 2019. Impacts of climate change, weather extremes and alternative strategies in managed forests. *Écoscience* 26, 53–70. <https://doi.org/10.1080/11956860.2018.1515597>
- Thom, D., Seidl, R., 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biol. Rev.* 91, 760–781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>
- Wallman, P., Svensson, M.G.E., Sverdrup, H., Belyazid, S., 2005. ForSAFE—an integrated process-oriented forest model for long-term sustainability assessments. *For. Ecol. Manag., Decision Support in Multi Purpose Forestry* 207, 19–36. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.016>
- Wessely, J., Essl, F., Fiedler, K., Gattringer, A., Hülber, B., Ignateva, O., Moser, D., Rammer, W., Dullinger, S., Seidl, R., 2024. A climate-induced tree species bottleneck for forest management in Europe. *Nat. Ecol. Evol.* 8, 1109–1117. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02406-8>
- Wikberg, P.-E., 2004. Occurrence, Morphology and Growth of Understory Saplings in Swedish Forests, *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Silviculturae* 322. ed. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.

6. Ekonomiska aspekter av skogsskador

6.1 Bakgrund

Klimatförändringarna påverkar skogsekonomin direkt genom produktiviteten och indirekt genom ökad risk för naturliga skadefaktorer. Detta sker på olika nivåer – bestånd, landskap och nationellt. De varierar i skala, från enskilda skogsägare till stora skogsföretag och användare av skogsprodukter, och i omfattning, vilket skapar osäkerhet för både skogsägaren och samhället. Detta kapitel beskriver de ekonomiska effekterna av de skadefaktorer som diskuterades i Del I. Den ekonomiska osäkerheten beror dels på själva skadefaktorerna och dels på skogsägarnas förmåga eller vilja att anpassa sig till förändringarna. Det påverkar också marknaden för skogsprodukter. I Del I konstaterades att det råder osäkerhet över hur klimatförändringarna kommer att påverka skadebilden. Det medför svårigheter för både skogsägare och samhälle i beslutsfattandet om framtidens skogsbruk. Detta kapitel diskuterar kortfattat utmaningarna i att bedöma dessa kunskapsluckors ekonomiska konsekvenser. Fokus ligger på att identifiera luckor som ekonomiska modeller eller ramverk kan överbrygga. Frågorna utvecklas ytterligare i Appendix.

6.2 Ekonomiska aspekter av små skogsägars riskhantering

Skogsägare kan anpassa sig till klimatförändringarna på olika sätt (Yousefpour et al., 2012; Guo och Costello, 2013). Det kan handla om löpande mindre justeringar i skogsskötseln eller om större, mer genomgripande förändringar som får större ekonomiska konsekvenser. Förändringsviljan förefaller styras av bland annat deras inställning till risk (Brunette et al, 2020; Thomas et al, 2022) och demografiska tillhörighet (Thomas et al, 2022). Litteraturen är dock begränsad.

Försiktiga skogsägare tenderar att föredra försäkringsbaserade lösningar och undvika mer riskfyllda alternativ, även om de potentiellt vore mer lönsamma. Några svenska studier har försökt mäta detta. Andersson och Gong (2012) fann att omkring 40 % av skogsägarna föredrog ekonomiskt mer riskabla alternativ, även om studiens upplägg gör den svår att jämföra med andra undersökningar. Eriksson (2014) undersökte skogsägarnas uppfattning om deras egen inställning till risk, men inte deras riskattityd i en bredare bemärkelse. Sammantaget vet vi fortfarande relativt lite om svenska skogsägars riskpreferenser.

Vi saknar för närvarande metoder att uppskatta risken för skogsskador. I ekonomiska termer kallas denna typ av osäkerhet ambiguitet. Under ambiguitet gäller inte alltid de vanliga reglerna för riskhantering, som att sprida riskerna genom diversifiering (Brunette et al, 2020). Vi vet mycket lite om skogsägars attityder till ambiguitet globalt, och ingenting alls om situationen i Sverige.

Litteraturen om skogsrelaterade försäkringar är begränsad och belyser sällan sambandet mellan attityd till risk och försäkringsval (Brunette and Couture, 2023; Brunette et al, 2020b; Deng et al, 2015). Det saknas helt kunskap i Sverige om hur attityder till risk och ambiguitet påverkar beslutsfattande, inklusive försäkringsfrågor. Denna lucka är anmärkningsvärd, eftersom försäkringarnas syfte är just att hantera risken för inkomstförluster till följd av skogsskador.

Sammanfattningsvis har ingen studie uttryckligen undersökt hur skogsägarnas attityder till risk och ambiguitet styr deras försäkringsval. Detta utgör en betydande kunskapslucka i försöken att förstå riskhantering och förutse hur skogsägarna kommer att hantera ekonomiska risker i framtiden.

6.3 Ekonomiska modeller för att uppskatta storskaliga skogsskador

Händelser som stormar, brand och angrepp av skadegörare kan orsaka betydande ekonomiska skador på skogen. Det är inte bara den lokala tillgången på trä och virkesmarknaden omedelbart efteråt som påverkas. Effekterna kan dröja kvar länge och spridas till angränsande regioner genom marknadskopplingar, och få långvariga konsekvenser för avverkningsbeslut. Ta en regional stormskada som exempel. En effekt är ett plötsligt inflöde av timmer till sågverken i området, vilket snabbt kan sänka priserna. Men detta leder till en brist längre fram, eftersom det nedblåsta beståndet inte producerat så mycket biomassa det annars skulle ha gjort. Detta har observerats i samband med orkaner (Johnston et al, 2022; Caurla et al, (2015). Om storskaliga skador blir vanligare i framtiden, kommer det att bli nödvändigt att kunna modellera den regionala virkesmarknaden, dess kopplingar till andra marknader, och den långsiktiga effekten på återplantering och skörd (Henderson et al, 2024).

Skogssektormodeller integrerar skogsbruket med skogsindustrin, och data för tillgång och efterfrågan på träprodukter. Specifika marknader som sågat virke, pappersmassa eller bränsle modelleras separat (Gong and Guo, 2020). Flera modeller kan dessutom räkna på hur tillgång och efterfrågan utvecklas över tiden, som den franska skogssektormodellen (Caurla et al, 2013) och den norska NorFor (Sjolie et al, 2011). Dessa modeller har utvecklats för storskaliga policyfrågor som behovet av biobränsle, kolinlagring, icke-materiella nyttor och avsättningar för naturvård. De är anpassade för specifika länder eller regioner, eftersom såväl skogens egenskaper och ägarstruktur som mönstret för tillgång och efterfrågan kan variera betydligt. Modellerna kan också uppskatta effekten av storskaliga skogsskador, antingen genom att applicera dem på mindre, högupplösta områden eller genom att komplettera dem med alternativa metoder. Exempelvis använde Henderson et al (2020) den amerikanska U.S. Sub-regional Timber Supply (SRTS) för att förutsäga orkanen Michaels inverkan på de skogliga marknaderna.

För att kunna uppskatta den ekonomiska effekten av skogsskador behöver Sverige en standardiserad nationell eller regional skogssektormodell, och ett ramverk för att koppla denna modell till följderna av specifika händelser. Två svenska skogssektormodeller har utvecklats sedan tidigare: STIMM (Gong et al, 2013) och varianter av SFSTM (Carlson, 2019), och även en regional modell för Norrbotten (Olofsson, 2019). Men de saknar standardisering, underhåll och uppdatering, och skulle kräva ansemliga resurser för att få i brukbart skick. Idag har Sverige varken en operativ nationell modell eller regionala modeller för trämarknader.

Vi saknar ekonomiska modeller som sammankopplar skogsbruket, dess marknader och olika typer av skadegörare och skadefaktorer. Det gör det svårt att förutse de ekonomiska implikationerna av skogsskador.



Bärris. Foto:Theres Svensson

6.4 Beslutsfattande i skogsfrågor när informationen är mycket osäker

Att bedöma skogsskador kräver förståelse för hur olika skadegörare och abiotiska skadefaktorer utvecklas, interagerar med och påverkar skogen. Skogsägare kan bara reagera effektivt om det finns en känd koppling mellan skadefaktorernas biofysiska dynamik och olika skötselmetoder. I realiteten är dock dessa kopplingar ofta osäkra eller okända, vilket skapar ett dilemma: skötselbeslut måste tas löpande, trots ovissheten i hur de påverkar skadegörarna. Vanliga tillvägagångssätt kan vara strukturerat beslutsfattande, planering efter scenarier och anpassad skötsel (Vanderhoeven et al, 2017), men beslutsfattarna måste oavsett metod kvantifiera fördelningen av okända parametrar i varje enskilt fall. Sådana problem (exempelvis sannolikheten för storm) beror ofta på brister i empiriska data i relevant geografisk skala, och på den inbyggda komplexiteten i biofysiska system. I dessa sammanhang är det sällan möjligt att hela basera besluten på data.

När det statistiska underlaget är otillräckligt för att göra en beslutsanalys, är expert elicitation ("fråga experter") en vanlig och lämplig metod (Colson & Cooke, 2018). Metoden används allt mer i skogsskadefrågor (se Appendix för detaljer), i exempelvis frågor om skogsbrand och hantering av bränsle (Martins et al, 2021; Scott et al, 2013) och i en mycket tidig studie av klimatförändringarnas inverkan på skogliga ekosystem (Granger Morgan et al, 2001).

I Norden har emellertid "fråga experter" sällan används för att systematiskt uppskatta spridningen av osäkerhet kring klimatförändringarnas effekt på specifika skadefaktorer. En sådan metod kan belysa hur viktig graden av osäkerhet är för beslutsfattandet. Oenighet mellan experter leder inte alltid till olika fördelningar av sannolikhet, och när det gör det, påverkar det inte nödvändigtvis viktiga beslut. Men utan att kvantifiera dessa skillnader är det svårt att prioritera både att "tappa till luckorna" och att skapa en systematisk, vetenskaplig bas för beslutsfattande.

Även om expertutlåtanden knappast är ett substitut för vetenskapliga studier kan de ge viktiga insikter och hjälpa skogsägare och samhällen att fatta beslut när det vetenskapliga underlaget är bristfälligt. Den vetenskapliga kunskapen om framtida skogsskador är begränsad, och Sverige saknar kvantitativa ramverk för att analysera frågan, vilket utgör en betydande kunskapslucka.

6.5 Prioriterade områden för framtida forskning

Baserat på avsaknaden av ekonomiska modeller och de kunskapsluckorna rörande skogsägarnas beteende som här beskrivits, kan följande områden anses vara de mest angelägna att hantera, och de som snabbast kan förväntas leda till applicerbar kunskap:

1. Ekonomisk riskhantering och små skogsägare. Utveckla kvantitativ kunskap om: skogsägarnas attityd till risk, och attitydens betydelse för försäkringar och skogsskötsel; samt skogsägarnas reaktioner på klimatförändringar och klimatrelaterade risker.
2. Ekonomiska modeller för att bedöma konsekvenser av storskaliga skogsskador. Utveckla: en statisk modell för utbud och efterfrågan av skogsprodukter för att utvärdera hur skogsägares och köparens beslut påverkar marknadens reaktioner; samt ett ramverk för att koppla modellen till storskaliga skogsskador och därigenom spåra effekterna på olika aktörer i skogssektorn.
3. Hantera osäkerhet, och skogsbrukets reaktion på flera samtidiga skade-risker. Utveckla kvantitativa ekonomiska modeller för att: förstå hur man bäst kan hantera samtidiga risker inom skogsbruket och hur skogsägarnas riskattityder påverkar dessa svar; ge beslutsstöd i situationer där den vetenskapliga kunskapen är ofullständig, t.ex. risken för invasiva arter; samt bedöma långsiktiga effekter av insekt- och svampsjukdomar på skogsekonomin.

Tack

Jag tackar Peichen Gong för hjälpsamma kommentarer och förslag till texten

Referenser

- Brunette, M., Hanewinkel, M., & Yousefpour, R. (2020a). Risk aversion hinders forestry professionals to adapt to climate change. *Climatic Change*, 162(4), 2157–2180.
- Brunette, M., Couture, S., Foncel, J., & Garcia, S. (2020b). The decision to insure against forest fire risk: an econometric analysis combining hypothetical real data. *The Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice*, 45, 111–133.
- Brunette, M., & Couture, S. (2023). Forest Insurance for Natural Events: An Overview by Economists. *Forests*, 14(2), 289.
- Carlsson M. 2012. Bioenergy from the Swedish forest sector. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences
- Caurla, S., Garcia, S., & Niedzwiedz, A. (2015). Store or export? An economic evaluation of financial compensation to forest sector after windstorm. The case of Hurricane Klaus. *Forest Policy and Economics*, 61, 30–38.
- Colson, A. R., & Cooke, R. M. (2018). Expert Elicitation: Using the Classical Model to Validate Experts' Judgments. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 113–132. <https://doi.org/10.1093/reep/rex022>
- Granger Morgan, M., Pitelka, L. F., & Shevliakova, E. (2001). Elicitation of Expert Judgments of Climate Change Impacts on Forest Ecosystems. *Climatic Change*, 49(3), 279–307. <https://doi.org/10.1023/A:1010651300697>
- Gong, P., LÖFGREN, K. G., & Rosvall, O. (2013). Economic evaluation of biotechnological progress: The effect of changing management behavior. *Natural Resource Modeling*, 26(1), 26–52.
- Guo, C., & Costello, C. (2013). The value of adaption: Climate change and timberland management. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65(3), 452–468.
- Eriksson, L. (2014). Risk perception and responses among private forest owners in Sweden. *Small-scale forestry*, 13, 483–500.
- Andersson, M., & Gong, P. (2010). Risk preferences, risk perceptions and timber harvest decisions—an empirical study of nonindustrial private forest owners in Northern Sweden. *Forest Policy and Economics*, 12(5), 330–339.
- Deng, Y., Munn, I. A., Coble, K., & Yao, H. (2015). Willingness to pay for potential standing timber insurance. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 47(4), 510–538.
- Henderson, J. D., Abt, R. C., Abt, K. L., Baker, J., & Sheffield, R. (2022). Impacts of hurricanes on forest markets and economic welfare: The case of hurricane Michael. *Forest Policy and Economics*, 140, 102735.
- Johnston, C. M., Henderson, J. D., Guo, J., Prestemon, J. P., & Costanza, J. (2024). Unraveling the impacts: How extreme weather events disrupt wood product markets. *Earth's Future*, 12(9), e2024EF004742.
- Martins, A., Novais, A., Santos, J. L., & Canadas, M. J. (2021). Experts' multiple criteria evaluations of fuel management options to reduce wildfire susceptibility. The role of closer knowledge of the local socioeconomic context. *Land Use Policy*, 108, 105580. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105580>
- Olofsson, E. (2019). Regional effects of a green steel industry—fuel substitution and feedstock competition. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(1), 39–52.

Reyer, C. P., Bathgate, S., Blennow, K., Borges, J. G., Bugmann, H., Delzon, S., ... & Hanewinkel, M. (2017). Are forest disturbances amplifying or canceling out climate change-induced productivity changes in European forests?. *Environmental research letters: ERL* [Web site], 12(3), 034027.

Scott, J., Thompson, M., & Calkin, D. (2013). *A Wildfire Risk Assessment Framework for Land and Resource Management*. United States Department of Agriculture, Forest Service / University of Nebraska-Lincoln: Faculty Publications. <https://digitalcommons.unl.edu/usdafsfacpub/328>

Sjølie, H. K., Latta, G. S., Gobakken, T., & Solberg, B. (2011). NorFor-a forest sector model of Norway. Model overview and structure. *INA fagrapport*, 18.

Thomas, J., Brunette, M., & Leblois, A. (2022). The determinants of adapting forest management practices to climate change: Lessons from a survey of French private forest owners. *Forest Policy and Economics*, 135, 102662.

Yousefpour, R., Jacobsen, J. B., Thorsen, B. J., Meilby, H., Hanewinkel, M., & Oehler, K. (2012). A review of decision-making approaches to handle uncertainty and risk in adaptive forest management under climate change. *Annals of forest science*, 69, 1-15.

7. Kvantifiering av stormskador på landskapsnivå

En illustration med hjälp av beslutsstödsystemet Heureka

7.1 Introduktion

I kapitel 1–5 beskrevs kunskapsluckor för ett antal skadegörare och abiotiska skadefaktorer, och i kapitel 6 luckor i hur beslutsstödsystem (DSS) modellerar dem. Här visar vi hur dessa luckor påverkar vår förmåga att skatta skaderisk, med storm som exempel. En central fråga är användningen av ”nedskalad” klimatdata. Med detta avses att grov global klimatdata har omräknats till en högre upplösning, i tid eller rum, för att bättre fånga lokala omständigheter.

Nedskalad vinddata är svår att använda i ett DSS. Stormar verkar under timmar eller dygn, men ett DSS anger ofta vind i aggregerade femårsintervall. Biofysiska faktorer som exempelvis kanteffekter har stor lokal betydelse för ett enskilt bestånd, men drunknar i spatialt lågupplösta modeller. Dessa tillkortakommanden förstärks om vi dessutom använder framtida vindlaster från regionala klimatmodeller. Detaljerade statistiska analyser av förhållandet mellan vind och skador på relevant geografisk nivå skulle kunna ge bättre uppskattningar (Zeppenfeld et al. 2023). Sådana data är dock skräddarsydd för specifika situationer och en specifik spatial skala, och otillgängliga i Sverige. Det förfarandet som återstår är därför scenarioanalys. Vi använder DSS:et Heureka (Lämås et al., 2023) för att illustrera hur osäkerheter i både framtida vindlaster och DSS-kapacitet påverkar slutsatser om stormrisk.

7.2 Stormar och svenskt skogsbruk

Flera förändringar i skogsskötseln har förvärrat risken för stormskador, som den ökade förekomsten av barrskogsmonokulturer (Drössler et al. 2014) och den större stående virkesvolymen (Hanewinkel et al. 2011).

Dessutom minskar perioderna med tjäle, vilket försämrar trädens förankring i jorden vintertid. Framtida skötsel måste beakta både skogens produktiva kapacitet och dess motståndskraft mot extremväder (Lucash et al. 2017). Tidigare studier på klimatförändringarnas effekter och risker på beståndsnivå visar att stormskador kan motverkas genom att undvika gallring, förkorta omloppstiden, och plantera färre granmonokulturer (Keskitalo et al. 2011; Wallentin and Nilsson 2014; Subramanian et al. 2016a). Blandade bestånd gynnar dessutom biodiversiteten, ökar motståndskraften mot rotröta och granbarkborre, och kan skapa tillfällen att använda nya, mer produktiva inhemska eller exotiska trädslag i skogsbruket (Bolte et al. 2009; Mason et al. 2012; Meason and Mason 2014).

7.3 Metod och data

7.3.1 Överblick

Vi illustrerar med Heureka hur klimat, vindlast och skötsel påverkar framtidens stormskador i Sverige. Vi kombinerar klimatscenarierna RCP4.5 (”optimistiskt”) och RCP8.5 (”business as usual”), två skötselstrategier i jämnårigt bestånd (med och utan gallring) samt tre mått på vindlast i femårsintervall (genomsnittlig, max, och 75 %): totalt 12 scenarier.

I dagsläget kan man inte i Heureka optimera skötseln med hänseende till stokasticitet. Med andra ord påverkar inte risken för slumpmässiga stormskador analysresultatet, som exempelvis omloppstid och gallringsschema. För att hantera att risken för storm i framtiden är slumpmässig simuleras en uppsättning alternativa vindstyrkor, alla med olika intensitet och intervall. Detta kan också hanteras problemet med att Heureka skriver fram skogen i femårsteg.

För varje klimatscenario/skötsel/vind-kombination dras 50 slumpvis omkastade vindlaster från respektive klimatscenario och Heureka simulerar utvecklingen över 100 år för var och en av dem, vilket ger en statistisk distribution av resultat. Det gör att stormskadan för varje femårsperiod och scenario i praktiken simuleras femtio gånger, med värden för vind slumpvist tagna från alla femårsperioder under simuleringen. Vad gäller vindlasten bortser vi alltså från alla tidsmässiga beroenden och behandlar varje femårsperiod som oberoende.

Detta förfarande har en stor fördel jämfört med att bara lägga fram ett medelvärde, nämligen att vi nu kan visualisera hela spektrat av tänkbara utfall. Det hjälper oss besvara frågan: givet att alla 50 vindstyrkor är lika sannolika, hur ser den troliga stormskadebilden ut under det kommande århundradet, och hur mycket varierar den? Det är viktigt att betona att stormskador beror på både vinden och tidpunkten (t.ex. om det är vinter, om marken är frusen, förfluten tid sedan senaste gallring). Detta samspel kan synliggöras av simuleringen. För skogsägare kan denna metod visualisera inte bara den genomsnittliga skadan i varje klimatscenario, utan även spridningen, inklusive det värsta tänkbara utfallet. Detta är viktigt att poängtera eftersom kopplingen mellan ett specifikt scenario och en särskild stormhändelse är oklar. De vindstyrkor som respektive klimatmodell genererar ska inte hanteras som faktiska data.

7.3.2 Studerade områden

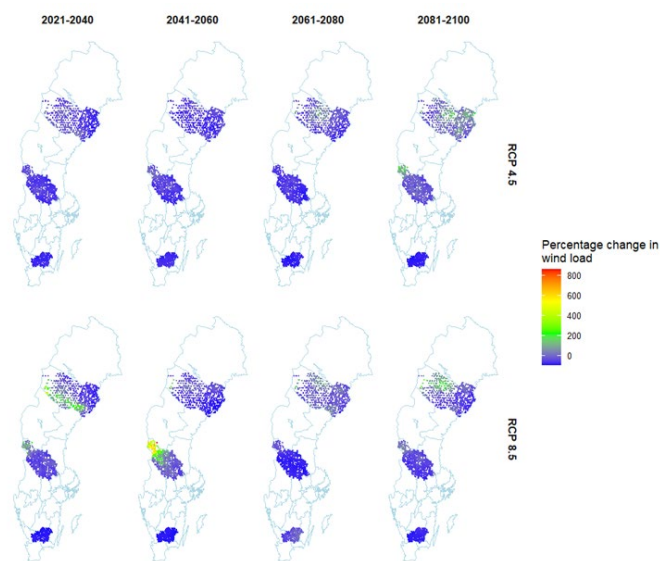
Eftersom stormskador i Sverige historiskt sett har varierat kraftigt mellan olika regioner, fokuserar vi på tre län: Kronoberg som ofta utsätts för stormar och stormskador, och Dalarna och Västerbotten som drabbas mer sällan. Vårt syfte är att beräkna variationen av skador mellan regioner och klimatscenarier. Vi använder data från Riksskogstaxeringen för dessa tre län som våra skogliga ingångsdata. Vi använder Heureka och applikationen RegWise (Lämås et al, 2023) och simulerar stormar i en matris av olika klimat, skötsel och vindstyrkor.

7.3.3 Simuleringar i Heureka

Vi simulerade kumulativ volym stormfälld skog och total tillväxt under perioden 2025–2100, i de nämnda 12 scenarierna. Varje scenario kördes med 50 slumpvist ordnade vindlaster enligt 7.3.1., plus två BAU-scenarier utan stormar (ett per klimat). Sammanlagt gjordes 602 körningar (50x12, +2). Den kumulativa mängden beräknades som summan av stormfälld skog för varje femårsperiod under försökstiden. Årlig tillväxt beräknades som tillväxttakt (CAI, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{år}^{-1}$) multiplicerat med respektive provytas areafaktor (Riksskogstaxeringen).

7.4 Simuleringsresultat

Figur 3 visar medelvinds-alternativet enligt de båda klimatscenarierna.

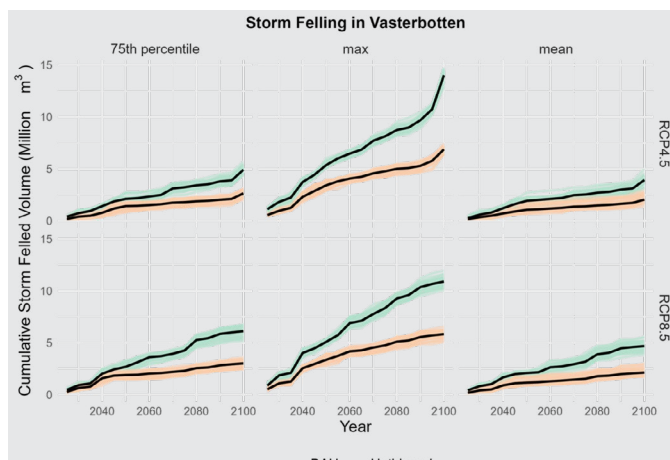


Figur 3. Förändring i procent i medelvindlast över 20 årsintervaller, jämfört med 2001-2020, under RCP4.5 och RCP8.5, i Västerbotten, Dalarna och Kronoberg. Vindlastberäkningen är optimerad med hjälp av NFI-data och inkluderar därför inte vinddata från klimatrutor utanför det produktiva skogsområdet.

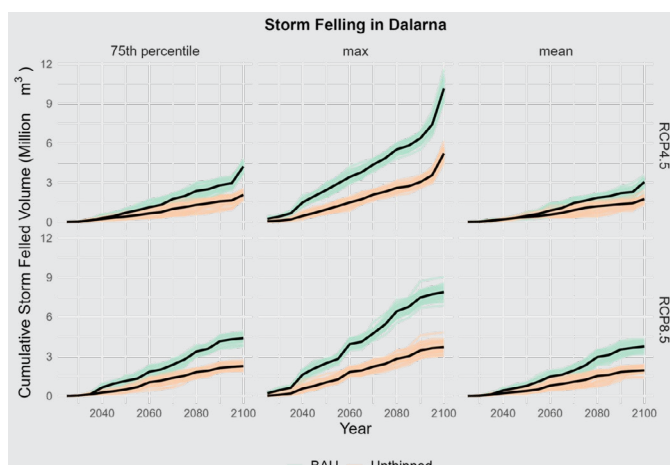
Den 20-åriga medelvindstyrkan är högre i RCP8.5 i alla länen. Ingen specifik trend kunde ses för de fyra intervallen. Den största ökningen i medelvind var på 800 %, under RCP8.5, 2041–2060, i nordvästra Dalarna. Ökningen var större i Västerbotten och Dalarna än i Kronoberg. Förändringarna är överlag måttliga, med sporadiska ökningar i vissa regioner och vissa perioder.

7.4.1 Kumulativ stormfälld virkesvolym

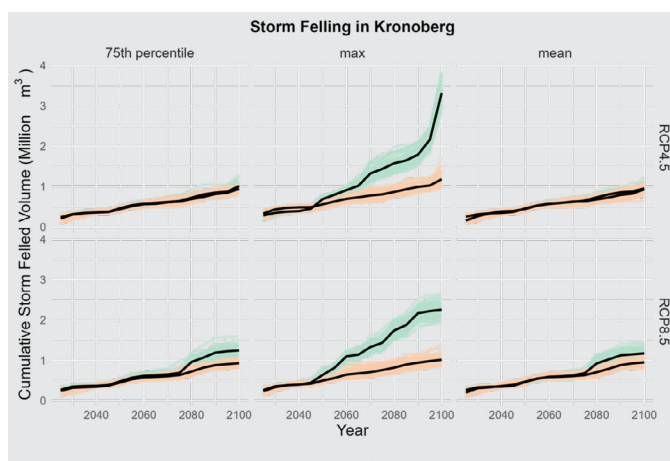
Eftersom vår simulering förutspår måttliga förändringar i vindlast, förväntade vi oss inga större förändringar i skademönster. Däremot förväntade vi oss förändringar i den kumulativa volymen stormfälld skog i de tre länen (Figur 4–6). Vi såg liknande mönster över hela simuleringsperioden, för alla tre länen, oavsett klimat- eller skötselalternativ. Detta gör vindlasten till den enskilt viktigaste faktorn för volymen fälld skog. Volymen var störst i max-vind-scenariot, följt av 75%-scenariot, och lägst i medelvinds-scenariot. Volymen var större under RCP8.5 i början och mitten av simuleringsperioden. Efter 2080 ökade dock volymen stormfälld skog i RCP4.5-scenariot. Den minskade i det ogallrade skötselalternativet i alla länen, klimatscenarier och vindstyrkor.



Figur 4: Kumulativ fälld volym (miljoner m^3) i Västerbotten under BAU (svart linje med grönt konfidensintervall) och ogallrat (orange intervall), i klimatscenarierna RCP4.5 och RCP8.5, och tre vindlastmått.



Figur 5: Kumulativ fälld volym (miljoner m^3) i Dalarna under BAU (svart linje med grönt konfidensintervall) och ogallrat (orange intervall), i klimatscenarierna RCP4.5 och RCP8.5, och tre vindlastmått.



Figur 6: Kumulativ fälld volym (miljoner m^3) i Kronoberg under BAU (svart linje med grönt konfidensintervall) och ogallrat (orange intervall), i klimatscenarierna RCP4.5 och RCP8.5, och tre vindlastmått.

7.5 Diskussion och slutsats

Våra fynd pekar på att en gallringsfri skötsel ökar motståndskraften mot storm i alla län, under alla klimatmodeller och alla vindstyrkor. Den totala årliga tillväxten var också bättre vid ogallrad skötsel för hela perioden i Dalarna och Kronoberg, men inte på 2080-talet i Västerbotten. Dessa resultat kan indikera att gallringsfri skötsel kan skapa stormresistens, i princip genom att minska den riskutsatta skogsvolymen. Detta måste dock vägas mot den eventuella minskningen i nuvärde. Detta kommer att analyseras i kommande studier.

Det är svårt att bedöma hur klimatförändringen påverkar stormarnas frekvens och intensitet. Eftersom de förekommer sällan måste de studeras över längre tidsperioder. Den senaste tidens ökning av skogsskador har orsakat debatt om behovet av anpassningar (Hahn et al, 2021; Senf and Seidl, 2021). Vår simulering pekar på att oförmågan att modellera bästa skötselåtgärd under stokastiska skaderisker som storm är ett stort hinder. Ett dåligt beslutsunderlag kan inte bara ge en inkomplett eller missledande bild, utan kan också leda till falska trade-offs. I det här fallet är en trade-off mellan motståndskraft och nuvärde en artefakt (om den alls existerar), sprungen ur oförmågan att ta korrekt hänsyn till risken för stormskador i avverknings- och gallringsfrågor. Vissa studier har använt en stokastisk optimeringsmetod för att hitta det bästa skötselalternativet genom att maximera nuvärdet i framtida stormar (Eyvindson et al, 2024). Detta är inte implementerat i Heureka ännu. Vår analys betonar också problemet att stora stormar opererar på en mycket mer högupplöst tidshorisont än vad många DSS klarar av (över några timmar istället för i femårsintervall). Statistiska modeller för specifika regioner skulle kunna ge mer skraddarsydda scenarier än de som presenteras av en i tid lågupplöst DSS.

Den stormmodell som Heureka för närvarande använder kombinerar grov- och finupplöst modellering för att simulera sannolikheten för stormskador vid en given tidpunkt. Sträckan utsatta hyggeskanter och höjdskillnaden mellan angränsande bestånd beräknas exempelvis på länsnivå (Lagergren et al, 2012).

Genomsnittshöjd borde istället jämföras med faktiskt angränsande bestånd. I Lagergrens (2012) studie beräknas dessutom hyggeskanten som oförändrad efter en storm, vilket förstås inte är fallet i verkligheten. Men att åtgärda detta kräver rumsligt explicita modelleringsmetoder, vilket ställer höga krav på beräkningskapaciteten. I klimatscenerierna beskrivs skogens framtida tillväxt och framtidens vindstyrkor som två separata saker: denna studie tar inte hänsyn till något samspel mellan dem. Vi har använt ett värde för vindstyrka för alla de mätpunkter som finns inom ett läns gränser när vi konstruerat våra vindscenarier. Helst skulle belastningen från vinden vid varje mätpunkt ha beräknats separat, baserat på den förutspådda styrkan i byarna. Idag går det inte att koppla en mätpunkt på en viss geografisk plats till en rikstaxyta i Heureka stormmodell. Programmet förbättras, men mycket arbete återstår.

Slutligen konstaterar vi att mer högupplöst data, i både tid och rum, behövs för att beräkna vindskador i framtida klimatscenerier, om vi ska kunna illustrera den statistiska fördelningen av belastningen från vind. Sådana fördelningar skulle kunna användas för att skapa mer högupplösta beslutsstödsystem för stormskador. Denna studie använde sig av en naiv bootstrapmodell över tid (där varje enskilt värde för vindstyrka ansågs oberoende av tiden), men det hade inte hjälpt att använda mer sofistikerade metoder. Problemet är att DSS som Heureka använder sig av lågupplösta femårsintervall,

Tack

Vi tackar Kristina Blennow för hjälpsamma förslag och återkoppling, och Johanna Lundström för kommentarer på texten.

Referenser

- Belusic, D., Berg, P., Bozhinova, D., Barring Lars, Döschner, R., 2019. CLIMATE EXTREMES FOR SWEDEN: State of knowledge and implications for adaptation and mitigation. SMHI. https://doi.org/10.17200/Climate_Extremes_Sweden
- Blennow, K., Olofsson, E., 2008. The probability of wind damage in forestry under a changed wind climate. *Clim. Change* 87, 347–360. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9290-z>
- Bolte, A., Ammer, C., Löf, M., Madsen, P., Nabuurs, G.-J., Schall, P., Spathelf, P., Rock, J., 2009. Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scand. J. For. Res.* 24, 473–482.
- Drössler, L., Nilsson, U., Lundqvist, L., 2014. Simulated transformation of even-aged Norway spruce stands to multi-layered forests: an experiment to explore the potential of tree size differentiation. *Forestry* 87, 239–248.
- Eyvindson, K., Kangas, A., Nahorna, O., Hunault-Fontbonne, J., Potterf, M., 2024. Integrating wind disturbances into forest planning: a stochastic programming approach.
- Feser, F., Barcikowska, M., Krueger, O., Schenk, F., Weisse, R., Xia, L., 2015. Storminess over the North Atlantic and northwestern Europe—A review. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 141, 350–382. <https://doi.org/10.1002/qj.2364>
- Hahn, T., Eggers, J., Subramanian, N., Caicoya, A. T., Uhl, E., Snäll, T., 2021. Specified resilience value of alternative forest management adaptations to storms. <https://doi.org/10.1080/02827581.2021.1988140>
- Hanewinkel, M., Hummel, S., Albrecht, A., 2011. Assessing natural hazards in forestry for risk management: a review. *Eur. J. For. Res.* 130, 329–351.
- Keskitalo, E. C. H., 2011. How can forest management adapt to climate change? Possibilities in different forestry systems. *Forests* 2, 415–430. <https://doi.org/10.3390/f2010415>
- Lagergren, F., Jönsson, A. M., Blennow, K., Smith, B., 2012. Implementing storm damage in a dynamic vegetation model for regional applications in Sweden. *Ecol. Model.* 247, 71–82.
- Lämås, T., Sängstuvall, L., Öhman, K., Lundström, J., Årevall, J., Holmström, H., Nilsson, L., Nordström, E. M., Wikberg, P. E., Wikström, P., Eggers, J., 2023. The multi-faceted Swedish Heureka forest decision support system: context, functionality, design, and 10 years experiences of its use. *Front. For. Glob. Change* 6. <https://doi.org/10.3389/FFGC.2023.1163105/FULL>
- Lucash, M. S., Scheller, R. M., J. Gustafson, E., R. Sturtevant, B., 2017. Spatial resilience of forested landscapes under climate change and management. *Landsc. Ecol.* 32, 953–969. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0501-3>
- Mason, W. L., Petr, M., Bathgate, S., 2012. Silvicultural strategies for adapting planted forests to climate change: from theory to practice. *J. For. Sci.* 6, 265–277.
- Meason, D. F., Mason, W. L., 2014. Evaluating the deployment of alternative species in planted conifer forests as a means of adaptation to climate change—case studies in New Zealand and Scotland. *Ann. For. Sci.* 71, 239–253. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0300-1>
- Mölter, T., Schindler, D., Albrecht, A., Kohnle, U., 2016. Review on the Projections of Future Storminess over the North Atlantic European Region. *Atmosphere* 7, 60. <https://doi.org/10.3390/atmos7040060>
- Senf, C., Seidl, R., 2021. Storm and fire disturbances in Europe: Distribution and trends. *Glob. Change Biol.* 27, 3605–3619. <https://doi.org/10.1111/gcb.15679>
- Senf, C., Seidl, R., 2021. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nat. Sustain.* 4, 63–70.

Skogsstyrelsen, 2022. Skogliga konsekvensanalyser 2022 – syntesrapport. Skogsstyrelsen, Jönköping, Sweden [In Swedish]. <https://doi.org/2023-02-02>

Subramanian, N., Bergh, J., Johansson, U., Nilsson, U., Sallnäs, O., 2016. Adaptation of Forest Management Regimes in Southern Sweden to Increased Risks Associated with Climate Change. *Forests* 7, 1999–4907. <https://doi.org/10.3390/f7010008>

Wallentin, C., Nilsson, U., 2011. Initial effect of thinning on stand gross stem-volume production in a 33-year-old Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand in Southern Sweden. *Scand. J. For. Res.* 26, 21–35.

Zeppenfeld, T., Jung, C., Schindler, D., Sennhenn-Reulen, H., Ipsen, M.J., Schmidt, M., 2023. Winter storm risk assessment in forests with high resolution gust speed data. *Eur. J. For. Res.* 142, 1045–1058.

8. Syntes: Övergripande frågor och kunskapsluckor

Fem viktiga aspekter kan sägas löpa som en röd tråd genom denna rapport: (i) skadefaktorer som beror på varandra eller förstärker varandra; (ii) spridningsdynamiken hos invasiva arter; (iii) möjligheten att ta hänsyn till hela kedjan av ekonomiska effekter, från den enskilde skogsägaren till marknaden; (iv) beslutsfattande utan fullständig kunskap om skaderiskerna; och (v) möjligheten att modellera skadegörare och abiotiska skadefaktorer i ett beslutsstödsystem för skoglig planering och i andra ekonomiska ramverk, som kost-nyttoanalyser eller policybeslut. Vi ger här ett perspektiv på dessa aspekter och diskuterar deras samband, samt utmaningar som kan uppstå på grund av dem.

8.1 Interaktioner mellan skadefaktorer

Olika skadefaktorer samverkar i komplexa, svårförutsedda interaktioner. Abiotiska störningar är ofta ett förstadium till biotiska, som när stormfällad skog eller torka leder till svåra utbrott av granbarkborre. Storskaliga skador är därför ofta resultatet av samverkande faktorer som inbegriper mer än en skadegörare. Frekvensen och intensiteten av abiotiska orsaker kommer sannolikt att förändras i framtida klimat. Allvarlig torka förmodas bli vanligare i framtiden. Torkan har i sig själv en direkt effekt på produktionen av biomassa och trädens överlevnad, men påverkar även mortaliteten indirekt genom ökad mottaglighet för insekt- och svampangrepp, liksom förhöjd risk för skogsbrand.

Eftersom skadeprocesserna är så intimt sammanlänkade kan försök att begränsa en skadegörare, eller skadefaktor, leda till höjd mottaglighet för en annan. Till exempel kan skador från betande djur begränsas genom att plantera gran även där så är mindre lämpligt. Dels kan detta

öka betetrycket på de tallbestånd som finns kvar, dels kommer granbestånd som etablerats på marker mer lämpliga för tall vara utsatta för en högre risk för granbarkborreangrepp.

En liknande interaktion är den mellan snö- eller stormskador och angrepp av skadegörare. När en skadegörare påverkat trädens fysiska stabilitet ökar risken för att en annan orsakar stambrott och omkullblåsning. Exempelvis kan angrepp av *Heterobasidion* leda till försvagade rötter, som leder till stormfällning. Omfattande insektsangrepp kan leda till mycket stående död ved, vilket kan öka risken för högintensiva bränder. Stormar kan bilda ägglägningsplatser för insekter eller skapa barkskador som blir ingångshål för svampar. Dessutom kan insekter agera som vektorer som sprider svampar till nya områden. Sammanfattningsvis finns det många interaktioner mellan dessa aktörer, och att studera dem är komplext eftersom ekologin är sammanflätad med skogsstrukturen och artsammansättningen.

8.2 Invasiva arter

Globalisering och handel med växtprodukter orsakar introduktion av invasiva arter, vilket kan få svårförutsedda effekter på skogshälsan och andra biotiska skadegörare. En EU-övergripande verksamhet för och övervakning av karantänsskadegörare är viktigt för så tidig upptäckt som möjligt, och för att förstå riskerna om arterna skulle komma till Sverige. Samhällets reaktion på och inställning till sådana förändringar är lika viktig, men kvantitativa skattningar av attityderna är sällsynta. Fler kvantitativa ramverk kommer att behövas för att adressera osäkerheten och dynamiken runt risken med invasiva arter. Beslut kopplade till att minimera dessa risker måste tas från fall till fall och omprövas regelbundet när ny kvantitativ information blir tillgänglig.

8.3 Ekonomiska konsekvenser, modeller och beslutsfattande

Det övergripande temat i Del I är hur klimatförändringarna kommer att påverka biotiska och abiotiska skador, och göra angrepp från flera aktörer samtidigt vanligare. Detta kan ha betydande ekonomiska effekter för både produktionsskogen och biodiversiteten. En större förståelse för de ekonomiska konsekvenserna av dessa förändringar behövs, inte bara med hänsyn till minskningar i virkesvolym och avkastning, utan också i kostnader associerade med ändrad skogsskötsel och motåtgärder. Några implikationer är värda att belysa. Kvantitativa modeller som kan koppla samman skador och tillväxt med ekonomiska modeller för skogsskötsel behövs idag mer än någonsin, men de är också svårare att utveckla med så många osäkerheter inblandade samtidigt. Dessutom måste beslut i skogsfrågor tas löpande, mot bakgrund av den rådande kunskapsnivån kring skaderisker. Därför leder en ökning i skaderisk till ett ökat behov av att förstå hur sådant beslutsfattande går till, inte minst på skogsägarnivå. Detta är särskilt viktigt vad gäller mer formell riskhantering, som försäkringsfrågor. Många luckor återstår i vår förståelse för dessa aspekter, och de blir allt tätare sammanlänkade. Dessutom har vi bristfällig kunskap om hur storskaliga skadehändelser, som stormar eller insektsutbrott, påverkar nästa avverkning eller den framtida skötseln. Avsaknaden av standardiserade skogssektormodeller är i det hänseendet ett stort hinder.

Slutligen är den totala kostnaden för skogsskador sannolikt underskattad. Direkta förluster till följd av nedbrytning och mortalitet är kvantifierbara, men indirekta kostnader är svårare att mäta. Hit hör försämrade ekosystemtjänster, förlust av biodiversitet, och skogens långsiktiga produktivitet. Dessutom hanterar inte nuvarande modeller ekonomiska konsekvenser som spridningen av patogener, behandlingens effektivitet, och skogens sårbarhet efter angrepp. Data över framväxande sjukdomars kumulativa ekonomiska betydelse är begränsad, och kostnad-nyttoanalyser för motåtgärder är sällan tillgängliga. Det gör det svårt att planera och prioritera effektiva motåtgärder.

8.4 Klimatdrivna förändringar hos skadefaktorer, deras interaktioner, och beslutsstödsystem

Diskussionen hittills visar på osäkerheten över hur klimatförändringarna påverkar enskilda skadegörare eller skadefaktorer, och deras samverkan. Följaktligen bör skogsförvaltare förvänta sig ett spektrum av olika skadescenarier, och överväga bredast möjliga lösningar för att minska skadorna på både produktivitet och biodiversitet. Det är nödvändigt att utveckla förvaltningsmodeller som gör det möjligt att simulera hur de olika skadegörarna utvecklas och samverkar, och att kvantifiera skogens mottaglighet i olika framtida scenarier. Sådana verktyg kan bygga på ekonomiska modeller men måste innehålla ytterligare aspekter, i synnerhet hög spatial/geografisk detaljnivå, som många beslutsstödsystem gör.

Modellerna behövs för beslutsstöd, och måste bygga på grundläggande forskning. Litteraturen kring dessa frågor är idag dels för liten och dels alldeles för specifik, vilket inte ger tillräcklig bas för brett tillämpliga beslutsstödsystem. Det är en utmaning att utveckla fullödiga modeller som kausalt och kvantitativt länkar samman en viss skötselåtgärd med en viss skadebild, från flera olika skadegörare eller skadefaktorer. Innan det skett kan nuvarande bristfälliga modeller förbättras så att de kan beskriva samspelet mellan klimatscenarier, effekten av en eller flera skadefaktorer, och skötsel. Åtminstone skulle sådana ramverk kunna skapa en informerad grund för det löpande beslutsfattandet, som inte kan vänta på att de kvantitativa, kausala modellerna utvecklas.

8.5 Prioriterade forskningsområden

Baserat på denna och tidigare diskussioner framträder följande behov:

1. Utveckla Heureka i följande riktningar:

- integrera riskindex för fler skadefaktorer
- integrera skogens motståndskraft, och ta hänsyn till risk från flera skadegörare och skadefaktorer samtidigt
- integrera modeller för att kunna uppskatta hur alternativ skogsskötsel påverkar risken för olika skadefaktorer i framtiden
- utveckla stormmodellerna till att ta in egenskaper som vindriktning och marklutning, och möjliggör stokastisk optimering så att skötseln kan anpassas till risken för storm

2. Utveckla

- kvantitativa ekonomiska modeller för att förstå vilka skötselalternativ som bäst hanterar risken för multipla skador
- modeller för att upptäcka och riskbedöma invasiva arter och framväxande patogener
- kvantitativ förståelse för skogsägares attityder till klimatrelaterad skaderisk, och dess implikationer för val i försäkrings- och skötsel frågor
- kvantitativa ekonomiska modeller för att: beräkna optimal motåtgärd för multipla skaderisker och samspelet med skogsägarens riskattityd, ge beslutsstöd i situationer där det vetenskapliga underlaget är otillfredsställande, och beräkna den ekonomiska effekten av långvariga utbrott av insekter eller patogener
- modeller och metoder för att utvärdera risk för torka och brand, som kan integreras i BSS som Heureka, och användas för kartläggning av lokal, regional eller nationell risk

3. Förbättra biologiska kontrollmetoder, identifiera naturligt resistent träd i förädlingsprogram, och implementera ekosystembaserade metoder för att minska spridningen av skogssjukdomar.

4. Kvantifiera

- effekten av skadeinsekter
- långsiktiga trender i relevanta insektspopulationer
- betandets inverkan på avkastningen
- betandets inverkan på beståndssammansättningen
- hur skogens egenskaper, skötselmetoder och väder påverkar risken för brand och torka

5. Identifiera trade-offs och synergier mellan åtgärder mot torka och brand och andra skadefaktorer, och med förvaltningsmålen (biodiversitet, ekonomisk vinning, kolinlagring etc)

6. Förbättra övervakningssystem i skogar och stadsmiljöer med systematisk datainsamling, integrering av klimat- och ekosystemdynamik, och utvecklandet av modeller för att upptäcka och riskbedöma invasiva arter och framväxande skadegörare

7. Utveckla bättre förståelse för hur skogsskötseln på beståndsnivå påverkar diversiteten på landskapsnivå

8. Förbättra kommunikationen med skogssektorn gällande ny forskning och existerande kvantitativa modeller och beslutsstödsystem



8.6 Slutsats

Framtidens skogsskötsel måste ta hänsyn till flera skadefaktorer samtidigt. En åtgärd riktad mot en skadefaktor kan annars förvärra problemen med en annan. Samtidigt måste riskhanteringen balanseras mot olika förvaltningsmål, både ekonomiska och ekologiska. För detta behövs både forskning och mer tillämpat beslutsfattande i den skogliga planeringen. Den nuvarande kunskapsnivån är otillräcklig för många av dessa beslut. En mer systematisk syntes av kunskapen om biotiska och abiotiska skadefaktorer, och hur de påverkas av skötseln, behövs för att förstå vilka konsekvenser olika klimatanpassningsstrategier får i svenskt skogsbruk.

Skogsbruket fokuserar ofta på produktionen av biomassa, men ett välfungerande ekosystem kan minska sårbarheten för olika skadefaktorer. Att gynna ekosystemet i stort kan därför även ge gynnsamma nettoeffekter för produktionen. Sådana synergier, eller i förekommande fall avvägningar, kan identifieras med modeller som kvantifierar hur biodiversitet och ekosystemens funktion påverkar omfattningen av skador, särskilt från flera källor samtidigt. Denna rapport har belyst hur vi idag saknar både den vetenskapliga kunskapen och de modellramverk som krävs för att göra sådana bedömningar.



SCIENCE AND
EDUCATION **FOR**
SUSTAINABLE
LIFE