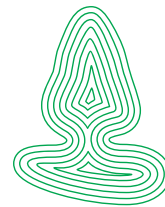


Viten fra Skog og landskap 3/07

---



skog+  
landskap

**EFFEKTER AV KLIMA-  
ENDRING PÅ SKOGENS  
HELSETILSTAND, OG  
AKTUELLE OVERVÅKINGS-  
METODER**

---

Svein Solberg og Lars Sandved Dalen (Red.)

# Viten fra Skog og landskap

”Viten fra Skog og landskap” er sammenstilt og bearbeidet informasjon, innsikt og kunnskap om skogen og landskapet i Norge. Serien er åpen for relevante manuskripter, også fra forfattere som ikke er ansatt ved Norsk institutt for skog og landskap.

**Utgiver:**

Norsk institutt for skog og landskap

**Redaksjon**

Camilla Baumann og Anita Solberg

**Dato:**

Mai 2007

**Trykk:**

PDC-Tangen

**Opplag:**

700

**Bestilling:**

Norsk institutt for skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås

Telefon: 64 94 80 00

Telefaks: 64 94 80 01

[www.skogoglandskap.no](http://www.skogoglandskap.no)

ISBN 978-82-311-0021-8

ISSN 1890-159X

**Omslagsfoto:**

Klimatisk vinterskade på gran, Østfold, 1993. Skaden er sannsynligvis forårsaket enten av frost eller tørke. Liknende skader er kjent fra Danmark og Storbritannia.

Foto: Svein Solberg

Viten fra Skog og landskap 3/07

---

**EFFEKTER AV KLIMAENDRING PÅ  
SKOGENS HELSETILSTAND, OG AKTUELLE  
OVERVÅKINGSMETODER**

---

Svein Solberg og Lars Sandved Dalen (Red.)

## **FORORD**

Denne rapporten er et resultat av prosjektet «Klimaovervåking – forprosjekt for utvikling og vurdering av et klimaeffektovervåkingsprogram for skog i Norge», som har vært finansiert av Landbruks- og matdepartementet (LMD). Flere kolleger ved Skog og landskap takkes for gjennomlesing og gode forslag til forbedringer av manuskriptet.

# INNHOOLD

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Sammendrag</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>1 Innledning</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>2 Klimascenarier</b> .....  | <b>9</b>  |
| 2.1 Globale klimascenarier .....   | 9         |
| 2.2 Klimascenarier for Norge .....   | 9         |
| 2.2.1 Temperatur .....   | 9         |
| 2.2.2 Nedbør .....   | 11        |
| 2.2.3 Vind.....  | 12        |
| <b>3 Effekter av klimaendringer på skogens helsetilstand</b> .....                       | <b>13</b> |
| 3.1 Abiotiske skader .....   | 13        |
| 3.1.1 Frost og klimatiske vinterskader.....  | 13        |
| 3.1.2 Tørke .....  | 16        |
| 3.1.3 Storm- og snøskader .....  | 17        |
| 3.2 Insektskader .....   | 19        |
| 3.2.1 Eksempler på skadeinsekter som kan få økt betydning .....                          | 19        |
| 3.3 Sopp sykdommer .....   | 22        |
| <b>4 Overvåking av skogens helsetilstand</b> .....                                       | <b>25</b> |
| 4.1 Fjernmåling av skogens helsetilstand .....   | 25        |
| 4.1.1 Eksempler på anvendelse av fjernmåling for overvåking og kartlegging av skoghelse: | 25        |
| 4.1.2 Vurdering av bruken av fjernmåling til overvåking av skoghelse: .....              | 27        |
| 4.2 Populasjonsovervåking av insekter .....  | 28        |
| 4.3 Populasjonsovervåking av sopp .....  | 30        |
| 4.4 Registreringer av skogskader på permanente felt.....                                 | 33        |
| 4.5 Systematisering av observerte skogskader.....  | 35        |
| <b>5 Konklusjon og anbefalinger</b> .....  | <b>37</b> |
| <b>6 Litteratur</b> .....  | <b>41</b> |

## SAMMENDRAG

I følge FNs klimapanel vil økte konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren føre til en global oppvarming på mellom 1,4 og 5,8 °C fra 1990 til 2100. Oppvarmingen medfører en økning i nedbør. Det ventes imidlertid store regionale forskjeller, og i noen områder ventes mindre nedbør. Det ventes regionale forskjeller også for endringen i frekvensen av ekstreme værforhold.

Regionale klimascenarier for Norge er utarbeidet i prosjektet RegClim ved å nedskalere resultater fra flere globale modeller og utslippsscenarier.

For Norge ventes en temperaturøkning på mellom 0,2 og 0,4 °C per tiår fra perioden 1961–1990 til perioden 2071–2100, med større oppvarming i innlandet enn langs kysten, større i nord enn i syd, og i nordlige områder større oppvarming om vinteren enn sommeren. Nedbørmengde ventes å øke i alle landsdeler og alle årstider med ett unntak: Sommernedbøren ventes å avta i Sørøst-Norge. Vindscenarier for Norge er usikre, men det ventes en svak økning i frekvensen av høye vindstyrker.

Varmere vintre med flere dager med minimumstemperaturer over 0 °C vil paradoksalt nok kunne føre til en økning i frostskafer på skog, da slike varme perioder vil redusere trærnes herdighet og toleranse for påfølgende frost. Det ventes en økning i omfanget av vinter- og vårfrostskafer i innlandet, samt en økning i sviskskafer på gran i kyststrøkene i Sørøst-Norge. Redusert nedbør og økt temperatur på Østlandet og Sørlandet ventes å gi økte tørkeproblemer i granskog, i form av økt nålefall og kroneutglisning, avdøying av småplanter, topper og hele trær. I resten av landet er tørke et lite problem og det blir enda mindre i framtiden. Mer våt og tien (uten tele) jord om høsten og vinteren og en akkumulering av gammel granskog vil, sammen med en svak økning av episoder med sterk vind kombinert med økt nedbørmengde, føre til en økning av stormskafer.

Det ventes at mange skadeinsekter vil øke sin utbredelse mot nord. Dette, sammen med mer sommertørke og mer stormfelling, kan gi sterkere skade av insekter som granbarkbille og barskognonne.

Et tørrere sommerklima i Sørøst-Norge kan øke frekvensen av rotråte og honningsopp; dels ved økning i tørkeskafer på røtter, dels ved kroneutglisning og dermed lavere forsvarsevne. Økt omfang av vinterskafer kan øke omfanget av knopp- og greintørkeangrep på furu. Lengre og varmere vekstsesong vil øke skadeomfanget for mange skadegjørende sopparter, blant andre granrustsoppen og almesykesoppen.

Det er særlig seks typer skogskader som ventes å øke i omfang:

- sommertørke på gran i Sørøst-Norge
- vinter- og vårfrostskafer generelt i innlandet
- stormfelling
- granbarkbille
- defolierende insekter, først og fremst nonne
- furuas knopp- og greintørkesopp, almesykesopp og granrustsopp
- råtesopper, særlig honningsopp og rotkjuke

Fjernmåling er en metode som har et stort potensial for overvåking av skogens helsetilstand. En årlig, heldekkende overvåking av hele skogarealet kan gjennomføres ved hjelp av satellittdata. Data fra flybårne sensorer kan benyttes i en samplingbasert overvåking. Tilleggsregistreringer av spesielle skader kan også gjøres med flybårne sensorer. Ellers i verden brukes fjernmåling i dag til overvåking av spesielle typer skogskader, og ofte på ad-hoc-basis.

Det anbefales å sette i gang og videreføre populasjonsovervåking av utvalgte skadeinsekter som granbarkbille og nonne ved hjelp av Feromonfeller.

Populasjonsovervåking kan også være aktuelt for utvalgte patogene sopparter som rotkjuke, knopp- og greintørkesopp, granrustsopp og gråskimmelsopp. Slik overvåking kan gjøres ved sporefangst, med volumetriske luftprøvetakere, og nyere DNA-baserte metoder kan benyttes for påfølgende identifikasjon og kvantifisering.

I Norge har vi hatt overvåking av skogens helsetilstand på permanente felt i over 20 år. En del av disse registreringene vil være av verdi også for overvåkingen av skogskader relatert til klimaeendringer. En videreføring av disse registreringene har den fordelen at lange tidsserier sikres og videreføres. Forbedringer og kostnadsreduksjoner oppnås ved at noen registreringer erstattes av nye metoder som fjernmåling og automatiserte målinger, og at noen registreringer kan slås sammen med andre aktiviteter.

Databasen *Skogskader på Internett* har et stort potensial for overvåkingen, og innrapporteringsrutinene bør videreutvikles. Økt innrapportering fra den regionale, offentlige skogforvaltningen anbefales.

**Nøkkelord:** Klimaendringer, tørke, frost, storm, insekter, sopp, overvåking





# I INNLEDNING

Vi er i en periode med menneskeskapte klimaendringer. Iskjernepøver fra Antarktis som representerer de siste 500 000 år viser at karbondioksidkonsentrasjonen (CO<sub>2</sub>) i atmosfæren ikke har vært så høy som nå (360 ppmv). Før den industrielle revolusjon var den på det meste 280 ppmv CO<sub>2</sub>. Karbondioksid er den av de menneskeskapte luftforurensningene som bidrar mest til de globale klimaendringene.

Klimaendringene gir oppvarming og også gjennomgående økt nedbørmengde. Økt temperatur, økt nedbør og økte CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i atmosfæren – alle disse tre faktorene vil bidra til økt plantevekst over store deler av kloden, ikke minst ved klimaforhold som i Norge.

Samtidig har vi nedfall av menneskeskapte nitrogenforbindelser med nedbøren. På Sørlandet kommer dette nitrogenet i samme mengde (20 kg/ha/år) og form (ammonium og nitrat) som anbefalt skoggjødsling for bare 20 år siden.

Det ser altså ut til at alt ligger til rette for en økt tilvekst i skogen framover. Vi er i ferd med å skape et klima for skogen omtrent som i et drivhus, med økt temperatur, økt nedbør og økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon, samtidig som plantene overrisles med nitrogenholdig vann. Er det overveiende slike positive effekter vi vil oppleve i tiårene som kommer? Eller vil de samme klimaendringene kunne gi negative effekter på norsk skog?

Vi har fått høre at klimaet skal bli «varmere, våtere, villere». Ved de store sjøene i Nord-Amerika har det gjennom de siste 70 årene vært et gradvis økende område med sterke skader på skog forårsaket av

milde vintre og vårfrost – såkalt «birch decline». Et område større enn Norges landareal er berørt. Kan trær som skal leve i 100 år, og som er genetisk tilpasset voksestedets klima, klare seg framover med endret klima? Et annet og noe overraskende funn gjelder hvitgran i Alaska der økt temperatur har ført til redusert tilvekst på grunn av tørkestress. I Sverige har de nylig hatt en storm som blåste ned 70 millioner kubikkmeter tømmer – like mye som ett års avvikning. Mildvær og regn i desember og januar hadde gjort trærnes rotfeste svært svakt da stormen Gudrun kom. På vestkysten av Alaska har barkbiller herjet etter en serie uvanlig varme somre og ingen tidligere dokumenterte insektangrep på trær i Nord-Amerika har ført til så mange drepte trær.

Hva vil skje med klimaet i Norge og hvordan kan dette påvirke skogskadesituasjonen? Hvordan kan vi overvåke slike effekter? Dette er problemstillingene denne rapporten belyser. Scenarier er usikre, og vi vil her bruke tilgjengelig kunnskap, litteratur og erfaringer. Når det gjelder effektene på skogskadesituasjonen så er sentrale spørsmål hvilke skogskadetyper som kan komme til å øke, hvilke deler av landet som vil være mest utsatt, om skogens helsestand gjennomgående vil bli dårligere, om en eventuell økt tilvekst vil oppveie en eventuell økning i skadeomfang, og hva som kan skje med risikoen for katastrofepregede skader. Når det gjelder overvåkingsmetoder så vil det hovedsakelig være basert på en gjennomgang av teknisk mulige metoder, men det omfatter også en vurdering av behov og strategier.



## 2 KLIMASCENARIER

Inger Hansen-Bauer og Jan Erik Haugen, Meteorologisk institutt

### 2.1 Globale klimascenarier

*I følge FNs klimapanel vil økte konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren antagelig føre til en global oppvarming på mellom 1,4 og 5,8 °C fra 1990 til 2100. Oppvarmingen ventes å føre med seg en økning i globalt midlet fordampning og nedbør. Det ventes imidlertid store regionale forskjeller, og i flere områder ventes mindre nedbør. Også når det gjelder endringer i frekvensen av ekstreme værforhold ventes store forskjeller fra region til region.*

For å anslå fremtidige klimaendringer benyttes fysisk baserte globale klimamodeller. Gitt en endring i konsentrasjonen av drivhusgasser, beregnes de resulterende endringer i klima. Slike utslippsscenarioer for drivhusgasser og partikler i atmosfæren er anslått på bakgrunn av antagelser av fremtidig demografisk, samfunnsøkonomisk og teknologisk utvikling. Bruk av forskjellige utslippsscenarioer og forskjellige klimamodeller gir ulike klimascenarier. Vi vet ikke hvilket utslippsscenario eller hvilken modell som er best. Validering av klimamodellene tyder imidlertid på at resultater fra kombinasjoner av mange modellkjøringer ligger nærmere virkeligheten enn resultater fra en enkelt kjøring. Følgende kvalitative resultater med relevans for Norge er robuste ut fra et slikt perspektiv:

- Oppvarmingen over landområder på høye nordlige breddegrader ser ut til å bli større enn gjennomsnittlig global oppvarming, spesielt i vinterhalvåret.
- I et område i den nordlige Nord-Atlanteren blir oppvarmingen antagelig mindre enn den globale oppvarmingen.
- I Nord-Europa ventes øket nedbør i vinterhalvåret.
- I Syd- og Mellom-Europa ventes minkende sommernedbør. Beregninger fra en del modeller tyder på at også Syd-Skandinavia kan få mindre sommernedbør.
- Modellresultatene er sprikende med hensyn til endringer i bakketrykkfelt, og gir ikke klare signaler med hensyn til endringer i gjennomsnittlig vindstyrke over Nord-Europa.

### 2.2 Klimascenarier for Norge

*Regionale klimascenarier for Norge er utarbeidet i prosjektet RegClim ved å nedskalere resultater fra flere globale modeller og utslippsscenarioer.*

De globale klimamodellene har dårlig romlig oppløsning, og for å studere klimaendringer på regional skala er det nødvendig å nedskalere scenariene. I Norge er flere metoder benyttet. Statistisk nedskalering er anvendt på en rekke globale scenarier. Dessuten er en regional klimamodell nøstet inn i de globale klimamodellene fra det tyske Max-Planck Instituttet (MPI) og det engelske Hadley Senteret (Hadley). Figurene i dette kapitlet viser kombinerte resultater fra MPI og Hadley under utslippsscenarioet B2, som er et ganske moderat scenario.

#### 2.2.1 Temperatur

*Temperaturscenarier for Norge viser større oppvarming i innlandet enn langs kysten, større i nord enn i syd, og i nordlige områder større oppvarming vinter enn sommer. Det kombinerte Hadley-MPI-scenariet under B2 gir gjennomsnittlige oppvarmingsrater mellom 0,2 og 0,4 °C per tiår fra perioden 1961 1990 til perioden 2071 2100.*

Det kombinerte scenariet Hadley-MPI under B2 gir minst økning i årets middeltemperatur i sydvestlige kyststrøk – størst i indre Finnmark. Scenarioet for sesongtemperaturer tyder på at det geografiske mønsteret for temperaturøkning vil variere gjennom året (Figur 1, øverste rad). Vinter, vår og høst har det geografiske mønsteret likhetstrekk med det vi ser på årsbasis, men forskjellen i oppvarming mellom sydvestlige kyststrøk og nordlige innlandsstrøk er størst om vinteren. Om sommeren viser scenariet størst temperaturøkning på Østlandet og minst langs kysten av Trøndelag/Nordland. Ifølge det kombinerte scenariet ventes sterkest oppvarming om vinteren helt i nord, mens det i andre landsdeler ventes større oppvarming om høsten og mange steder også om våren. Det kombinerte scenariet gir i alle landsdeler minst oppvarming om sommeren.

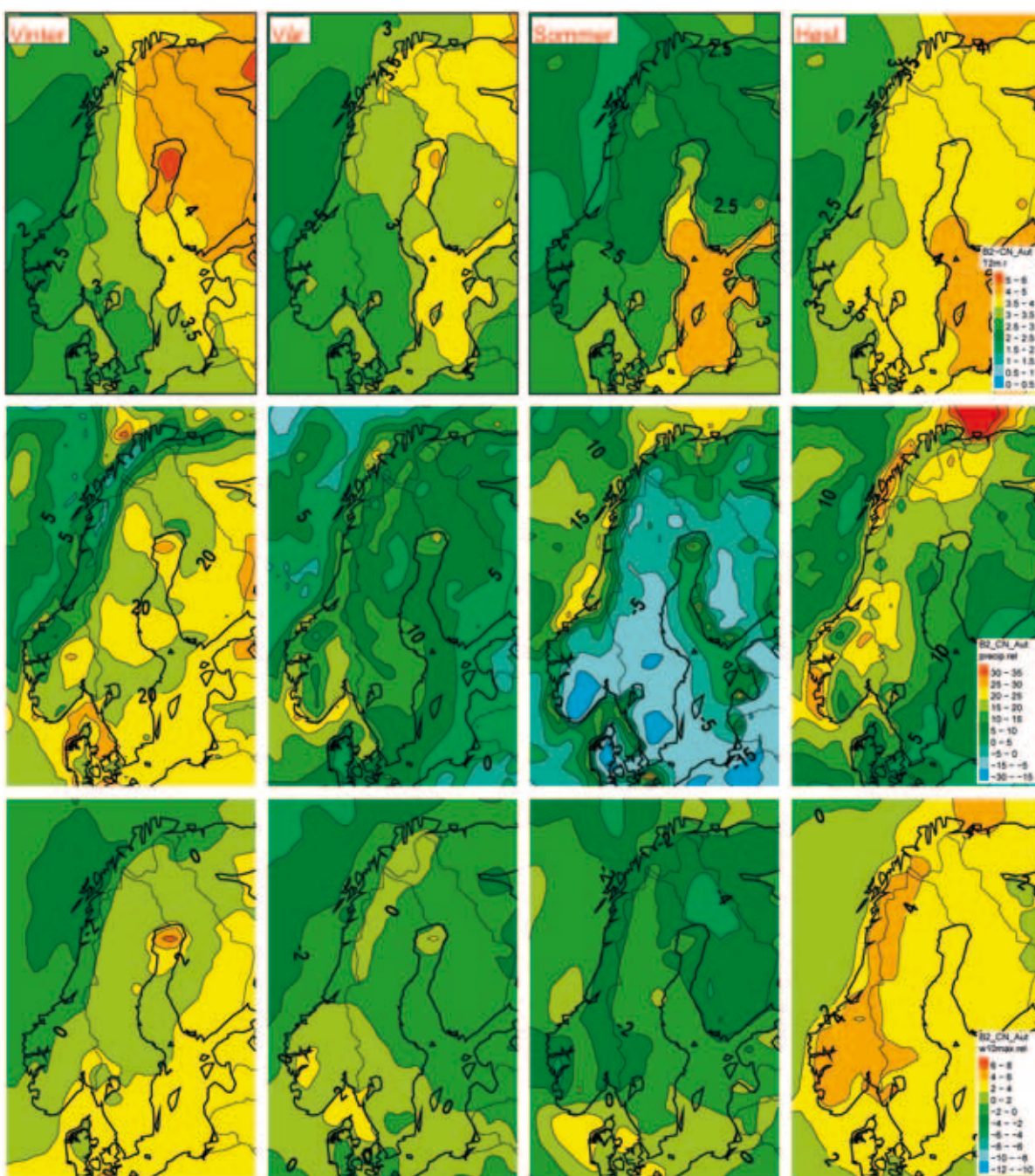
Fordi det er en treghet i klimasystemet er temperaturscenariene for de første 30–50 årene ikke så veldig avhengige av utslippsscenarioet. Mot slutten av det 21. århundret ser vi imidlertid at mer ekstreme utslippsscenarioer enn B2 fører til betydelig større oppvarming enn det som her er vist. Forskjellige glo-

bale modeller gir forskjellige oppvarmingsrater for Norge, men statistisk nedskalering fra et knippe modeller tyder på at resultatene fra Hadley og MPI er nokså «midt på treet» i forhold til andre modeller.

Den regionale modellen gir få lokale detaljer, men resultater fra statistisk nedskalering tyder på at det særlig i innlandsstrøk kan bli forskjeller i oppvarmingsrater mellom frittliggende steder (koller o.l.) og fordypninger i terrenget: På grunn av redusert omfang av inversjon kan oppvarmingen om vinteren skje raskere i dalførene enn i fjellet. Kartene i

Figur 1 er antagelig mest representative for frittliggende steder.

Hadley-MPI-scenariet gir fra perioden 1961–1990 til perioden 2071–2100 en økning i antall vinterdager per år med minimumstemperatur over 0 °C. Minst økning (<4 dager per vinter) ventes i innlandet nordpå og i fjellstrøk sydpå, mens økningen ventes å bli størst (+24 dager) langs kysten av Troms og Finnmark. Også langs resten av kysten og i store deler av Syd-Norge ventes store endringer (+12–24 dager).



Figur 1. Forventet endring i sesongmiddeltemperatur (øverst), sesongnedbør (midten) og sesongmidlet døgnlig maksimumvind (nederst) fra perioden 1961–1990 til perioden 2071–2100.

## 2.2.2 Nedbør

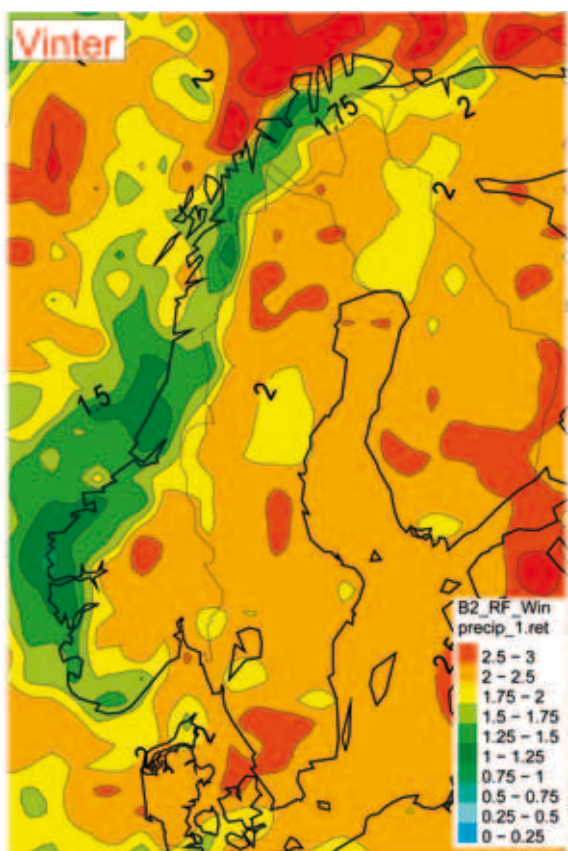
*Nedbørscenarier for Norge varierer mer fra modell til modell enn temperaturscenarier. Hadley-MPI-scenariet viser økning i årsnedbør over hele landet. I de fleste landsdeler ligger den ventede nedbørøkningen fra perioden 1961-1990 til perioden 2071-2100 mellom 10 og 15 %, men i enkelte kyst- og fjordstrøk ventes en økning på mer enn 15–20 %.*

Det er store forskjeller mellom nedbørscenariene for de forskjellige årstidene (Figur 1, annen rad). Størst nedbørøkning (landsgjennomsnitt ca. 20 %) ventes om høsten, skjønt projeksjonene viser økning også om vinteren og våren de aller fleste steder i Norge (landsgjennomsnitt ca. 13 %). Om sommeren ventes i landsgjennomsnitt liten endring, men regionalt er bildet annerledes: I Nord-Norge ventes en gradient fra små endringer i indre strøk til 15–20 % økning ved kysten, mens det i Syd-Norge ventes redusert sommernedbør over store områder. På deler av Sørlandet og Østlandet ventes en reduksjon på minst 15 %.

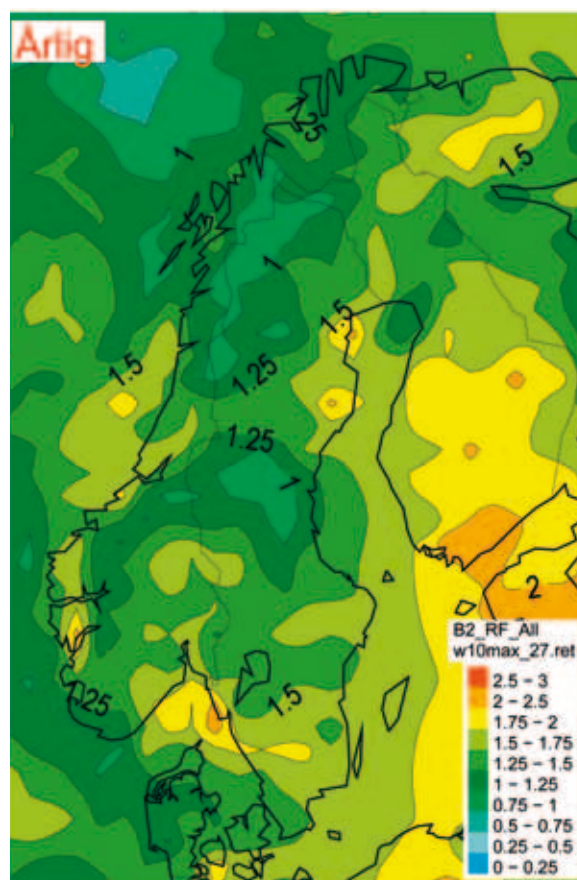
Det er betydelige forskjeller lokalt mellom sesongscenariene fra Hadley og MPI. Resultater fra statistisk nedskalering viser at forskjellene mellom

resultater fra ulike modeller generelt er større for nedbør enn for temperatur. Lokalt kan projeksjonene variere fra å vise en reduksjon til å vise stor økning. Resultater fra en rekke modeller tyder likevel på at signalet om øket årsnedbør i Skandinavia er robust. I nordre regioner gir de fleste modeller nedbørøkning i alle årstider. I sydøstlige regioner (inkludert Østlandet) gir mange modeller redusert sommernedbør.

Analyser av døggnedbør i Hadley-MPI-scenariet tyder på at døgn med store nedbørmengder vil forekomme hyppigere i perioden 2071–2100 enn i perioden 1961–1990. Døggnedbør som nå forekommer kun én gang per vinter vil – ifølge scenariet – om 100 år forekomme hyppigere over hele landet, og to-tre ganger per vinter på store deler av Østlandet (Figur 2). Også om sommeren indikerer scenariet en hyppigere forekomst av høy døggnedbør over hele landet. På Østlandet ventes imidlertid også en økning i antall dager med oppholdsvær om sommeren. I denne landsdelen må vi følgelig være forberedt både på øket risiko for tørke og øket risiko for flom.



Figur 2. Forventet hyppighet i perioden 2071–2100 av den døggnedbøren som i perioden 1961–1990 forekom i snitt én gang per vinter (Tall større enn 1 innebærer hyppigere forekomst av store døggnedbørverdier).



Figur 3. Forventet forekomst per år i perioden 2071–2100 av den vindstyrke som i perioden 1961–1990 forekom én gang per år.

### 2.2.3 Vind

*Vindscenarier for Norge er mindre konsistente enn både temperatur- og nedbørscenarier. Hadley-MPI-scenarier gir svake signaler når det gjelder endringer i gjennomsnittlig vindstyrke i Norge. Mange steder ventes det likevel en viss økning i frekvensen av høye vindstyrker.*

Det kombinerte Hadley-MPI-scenariet gir kun små endringer fra perioden 1961–1990 til perioden 2071–2100 både i gjennomsnittlig døgnlig maksimumvindstyrke i Norge for alle årstider (Figur 1, siste rad). Både vinter, vår og sommer ligger de pro-

jiserte endringene innenfor  $\pm 2\%$ . Om høsten ventes imidlertid en økning på 2–6% over hele landet.

Resultater så langt tyder på at endringene i frekvensen av høye vindstyrker kan endre seg noe mer enn middelverdiene. Det ventes for eksempel en viss økning i frekvensen av døgn med vindhastighet  $>15$  m/s de aller fleste steder. En analyse av forekomsten av den vindhastighet som i perioden 1961–1990 har forekommet i snitt én gang per år, viser at denne vindstyrken mot slutten av århundret vil forekomme mellom 1 og 1,75 ganger per år de aller fleste steder i landet (Figur 3).

## 3 EFFEKTER AV KLIMAENDRINGER PÅ SKOGENS HELSETILSTAND

### 3.1 Abiotiske skader

Svein Solberg, Skog og landskap

3.1.1 Frost og klimatiske vinterskader  
*Varmere vintre med flere dager med minimumstemperaturer over 0 °C vil paradoksalt nok kunne føre til en økning i frostskafer på skog. Slike varme perioder vil redusere trærnes hardighet og toleranse for påfølgende frost. Klimaendringer kan på denne måten føre til en økning i omfanget av vinter- og vårfrostskafer, særlig i innlandet, samt en økning i klimatiske svikskader på gran i kyststrøkene i Sørøst-Norge.*

For å forstå hvordan klimaendringer kan påvirke omfanget av frost- og vinterskader er det viktig å ha kunnskap om trærnes årlige vekstrytme og hva som styrer denne. Vekstrytmen er et resultat av en tilpasning mellom behovet for å utnytte så mye som mulig av vekstsesongen og nødvendigheten av å unngå frostskafer. Året kan deles i to faser, vekstfasen og hvilefasen. Det er flere mekanismer som styrer trærnes frosthardighet i hvilefasen og tidspunktet for hvilefasens start og slutt. Når trærne er i hvilefasen varierer frosthardigheten fortløpende med minimumstemperaturen de foregående dagene. Det er en viss tregheit i systemet slik at vedvarende sterk kulde gir mer frosthardighet og vedvarende mildvær gir redusert frosthardighet. Hvilefasen deles inn i de to underfasene hvile («endodormancy») og dvale («ecodormancy»). Under hvilen er det et kuldekrav, det vil si en akkumulert mengde av lave temperaturer over tid, som skal oppfylles, og under den påfølgende dvalen er det et varmekrav, det vil si en akkumulert mengde med høye temperaturer over tid, som skal oppfylles, før veksten kan starte. Så snart kuldekravet og varmekravet er oppfylt, vil varmt vær sette i gang prosesser i trærne som leder fram mot vekststart. På våren er disse prosessene før og under knoppsprett irreversible, og trærnes hardighet reduseres permanent. Under vekstfasen er frosthardigheten lav, særlig i starten. Overgangen fra vekstfase til hvilefase styres hovedsakelig av daglengde, det vil si av reduksjonen i daglengden på ettersommeren. Denne årsrytmen er genetisk styrt (proveniens, og genetisk variasjon innen proveniens), men den er også miljøstyrt. Det er påvist hukommelsesmekanismer hos grantrær som gir trærne økt plastisitet overfor klimaendringer. Den virker slik at granas avherding og vekststart om

våren, og vekstavslutning og herding om høsten, reguleres av et minne fra temperatur- og daglengdeforhold under embryoutvikling i frøet. Hukommelsen bygges opp fra begynnelsen av juli til slutten av september det året frøet lages, og virker slik at plantene i sitt videre liv reagerer seinere på endringer i temperatur og daglengde, under forutsetning av at frøet blir produsert under varmere forhold enn i dag. Både vekststart om våren og særlig vekstavslutning om høsten vil starte seinere, og vekstperioden blir lengre. Dette fører til både redusert risiko for frostskafer og økt tilvekst, særlig i de viktige første 10 etableringsårene. Fenomenet gjør at tilpasningen til klimaendringer går betydelig raskere enn gjennom naturlig genetisk tilpasning over mange generasjoner.

I Norge forekommer frost i store deler av året, men spesielt i vekstsesongen på sommeren, når frosthardigheten er lav, er trærne utsatt, og frostepisoder kan gi stor skade. Frost kan gi skader både på bladverk, knopper, skudd og greiner, på kambiet, og på rotsystemet. Frostskafer gjør dessuten trærne mer utsatt for sopp- og insektskafer. Mest velkjent er frostskafer på gran om våren og forsommeren, som gir hengende, ofte brune skudd. Furu er lite utsatt for dette, mens løvtrær i en del tilfeller kan få visne skudd og blader. Sterke sommerfrostepisoder har vært observert og registrert i over 100 år, og for eksempel Statsentomolog Schøyen skrev følgende i sin innberetning av en omfattende frostskafe den 10. juni 1911: «[Der] ... indtraf over større strækninger en sterk nattefrost, hvorunder baade unge planter og nye skud paa ældre træer frøs ihjel». Av større frostskafer i Norge i nyere tid kan nevnes en uvanlig kraftig frostepisode over store områder i innlandet på Østlandet 23. juni 1992, der årsskudd helt opp til 20 m over bakken ble drept. Dette er så langt vi vet den sterkeste sommerfrostskafer som har skjedd i Norge de siste 100 år.

På høsten avslutter trærne veksten, de går inn i hvilefasen og oppnår frosthardighet. Så lenge temperaturen ikke går over 0 °C over lengre perioder og det ikke er store svingninger i temperaturen, kan trærne tåle svært lave temperaturer. Frostskafer forekommer i vinterhalvåret, ofte ved brå temperatursvingninger eller vedvarende sterk kulde, og flere faktorer som sjørøkk, vind og tørke kan medvirke til slike skader. Selv om symptomene vanligvis er ensartede; barnålene rødbrune og misfarget, så er årsakene ofte sammensatte og vanskelige å

bestemme, og skadene kalles gjerne klimatiske vinterskader (Figur 4). Slike skader kan opptre over store områder, ramme både unge og gamle trær og føre til redusert tilvekst og omfattende avdøying også på stor skog.



Figur 4. Furu med klimatisk vinterskade. Foto: Svein Solberg, Skog og landskap.

Noen vanlige typer av klimatiske vinterskader i Norge er frostbelteskader, modningsbetingede vinterskader og frosttørke. Av vinterskadene er nok frostbelteskadene de mest omfattende. Disse skadene oppstår når kald luft samles i daler eller lavere partier og når varm luft trenger fram og legger seg i et sjikt over kaldlufta. Små bevegelser opp og ned i grensesjiktet mellom begge luftmassene gir store og raske temperaturvekslinger som kan gi sterke sviskader på både unge og gamle trær.

Modningsbetingede vinterskader oppstår når innvintringen blir forsinket som en følge av forstyrrelser i vekst avslutningen om høsten. Slike hendelser har gitt utbredte skader, for eksempel i Norge, Sverige og Finland i 1903, i Sør-Norge og Finnmark i 1963 og på det sørlige Østlandet i 1977.

Frosttørke – en kombinasjon av frost og uttørking – gir fra tid til annen sviskader og kraftige skader. Sviskader, ofte like under toppen, på gran i sørlige kyststrøk på Østlandet var utbredt i vintrene 1990–91 og 1991–92 (Figur 5). Liknende skader var samtidig svært utbredt i Danmark, der de gikk under navnet røde rødgraner, og i England og Sverige hvor de ble kalt «sub-top dying». Årsaken til disse skadene ble ikke endelig fastslått, men både uttørking og frost syntes å spille en viktig rolle sammen med tørkestress den foregående sommer. Også lenger sør i Europa har klimatiske vinterskader ført til omfattende skogskader. Mest velkjent er frostbølgen 31. desember 1978 i de sørlige delene av Tyskland, Tsjekkia og Polen, da granskog over

store områder døde. Temperaturen falt med 15–20 grader, fra pluss til minus, i løpet av noen få timer. Selv om skadene i deler av området kan ha skyldtes et samspill med luftforurensning, var temperaturforholdene i seg selv nok til å forårsake slike skader. I Frankrike førte vinterfrosts skader, sammen med proveniensfeil, til avdøying av furu over ca 500 km<sup>2</sup> i 1985.



Figur 5. Klimatisk vinterskade på gran, Østfold, 1993. Skaden er sannsynligvis forårsaket enten av frost eller tørke. Liknende skader er kjent fra Danmark og Storbritannia. Foto: Svein Solberg, Skog og landskap.

I USA og Canada har det vært et omfattende og økende problem med frosts skader gjennom de siste 60 år. De mest omfattende skadene har hatt et akkumulert skadeareal på over 500 000 km<sup>2</sup> i områdene rundt de store sjøene. Fenomenet er kjent som «the birch decline» selv om også andre treslag er rammet. Et annet eksempel er «the red spruce decline» på rødgran i fjellområdene i det nordøstlige USA som har ført til betydelige tilveksttap de siste tiårene, og som i 2003 førte til omfattende avdøying av trær. Årsakene til disse klimatiske vinterskadene er usikre, men har vært knyttet til såkalte fryse-tinesekvenser, det vil si gjentatte vekslinger mellom pluss- og minusgrader gjennom



vinter og vår, noe som har økt i takt med en gradvis temperaturøkning de siste 100 år. Disse skadene har vært svært omfattende i areal, men det er samtidig store forskjeller mellom treslag når det gjelder hvor utsatt de er for skader etter slike fryse-tine-sekvenser. Rødgran og balsamedelgran vokser side om side, men graden av skade er helt forskjellig.

Frostskader på røtter er en lite omtalt skadetype i Norge, og kan være undervurdert fordi årsaken kan være vanskelig å fastslå. Fra Finland kjenner vi til frostskader på fururøtter i perioder med lite snø, og undersøkelser fra Vestkysten av Alaska har gitt mistanke om at et gradvis tynnere snødekke gjennom de siste hundre år har bidratt til økt frostskade på rotsystemet og omfattende skogdød på nootkasyppress (*Chamaecyparis nootkaensis*), den såkalte «Yellow cedar decline».

#### Scenarium:

Selv om klimascenarier indikerer høyere temperaturer gjennom hele året, vil den økte temperaturen – paradoksalt nok – kunne resultere i mer frostskader på trærne. Når det gjelder sommerfrost forventes det en nedgang, dels som en følge av økt temperatur og dels fordi temperaturinversjon vil opptre sjeldnere på grunn av mer vind og økt skydekke med redusert utstråling om natten. Scenariet for vind og skydekke er imidlertid usikkert, og et varmere og tørrere sommervær kan gi mindre skydekke, og økt frostfare kan dermed ikke utelukkes.

Risikoen for høstfrost, det vil si frostepisoder etter vekstavslutningen, ventes å avta som en følge av den ventede temperaturøkningen. Dessuten styres vekstavslutningen hovedsakelig av daglengde og det ventes derfor små endringer i tidspunktet for vekstavslutning. Sein høstfrost knyttet til modningsproblemer kan imidlertid komme til å øke.

Omfanget av frostbelteskader ventes å avta fordi temperaturinversjon generelt blir mindre vanlig. Mer vind vil løse opp inversjoner, og inversjon vil også motvirkes av mer skyer og endret strålingsbalanse ved mindre snødekke.

Modningsbetingede vinterskader er en skadetype som ventes å minke i omfang som en følge av varmere somre og dermed tidligere vekstavslutning og modning i god tid før frosten kommer. På Østlandet, der det ventes flere tørkesomre, kan dette likevel føre til problemer siden langvarig tørkestress reduserer vekst og utvikling slik at modningen ikke blir fullstendig.

Granskogens naturlige fravær i de vestlige og sørlige deler av Europa kan indikere økte problemer for gran i kyststrøkene i den sørligste og sørvestlige delen av Norge, med et gradvist sterkere kystpreg på klimaet her framover. Mer mildvær og vind på vinteren vil gi økt transpirasjon i perioder med lavt vannopptak, noe som kan føre til uttørking og sviskader.

Fordi høyere vintertemperatur vil redusere herdigheten og føre til tidligere vekststart på våren kan vi vente en økning i vinter- og vårfrostskader. Det kan ventes avherding av trærne i mildværsperioder og frostskader i påfølgende kuldeperioder. Slike frysetinesekvenser og langvarige mildværsperioder kan redusere herdigheten i flere uker. Brå opptining kan også i seg selv gi skader som en følge av uttørking. Når det gjelder trærnes hvilebrytende kuldekrav vil det ha liten betydning i denne sammenheng. Kuldekravet er ofte oppnådd allerede i november, og selv en temperaturøkning på 7–8 °C vil ikke kunne hindre tidligere vekststart og økt fare for vårfrostskader. Forsøk utført i Skottland har vist at kuldekravet i noen tilfeller kan bli vanskelig å oppnå, at vekststarten på våren kan bli forsinket, og at frostfaren dermed blir redusert. Det er ikke sannsynlig at dette vil skje i Norge. Fenologiske studier viser at temperaturøkningen de siste 10–20 år har ført til en tidligere og ikke seinere vekststart. Med økte vintertemperaturer vil også trærnes varmekrav bli oppnådd raskere slik at veksten starter tidligere, og dette gir økt fare for frostskader om våren. Risikoen for slike skader er størst i innlandet der trærne i dag er tilpasset en brå overgang fra vinter til sommer. Et mer oseanisk klima med mindre temperaturvariasjoner både gjennom døgnet og gjennom året vil gi en langsommere overgang mellom vinter og vår, og en større andel av vinteren vil ha temperaturer som fluktuerer rundt nullpunktet istedenfor å variere omkring noen kuldegrader. I innlandet er trærne i utgangspunktet tilpasset lave frysetemperaturer i vinterhalvåret, og økte vintertemperaturer og skiftende temperaturer rundt 0°C etterfulgt av frostepisoder ventes å redusere frostherdigheten og øke faren for frostskader. Muligens er risikoen for slike skader størst i de sørligste delene av landet, siden gjennomsnittlig vintertemperatur her ligger nær frysepunktet. Undersøkelser i andre nordiske land indikerer en økt fare for fryse-tineskader i sørlige områder siden temperaturøkningen om våren ikke er så rask her som lenger nord. En forventet temperaturøkning kan derfor føre til at vekststart om våren blir framskyndet med flere dager. Lenger nord er temperaturøkningen om våren så rask at en gene-

rell temperaturøkning ikke vil gi tidligere vekststart. Derimot kan nordlige innlandsstrøk bli mer utsatt for fryse-tineskader som følge av et mer oseanisk klima. I Øst-Finnmark, for eksempel, ventes en økning i vintertemperaturen på hele 4–5 °C. Hvor i Norge risikoen for vinter- og vårfrostskader er størst vil forøvrig være avhengig av tidsperspektivet. I første omgang vil muligens risikoen øke mest i sørlige områder, mens nordlige områder kan være mer utsatt på lengre sikt.

### 3.1.2 Tørke

*Det er sannsynlig at vi får økte tørkeproblemer i granskog på Østlandet og Sørlandet, med økt nålefalling og kroneutglisning, avdøying av småplanter, topper og hele trær. I resten av landet er tørke et lite problem, som ventes å bli enda mindre i framtida.*

I Norge er gran det treslaget som er mest utsatt for tørke. Et velkjent og iøynefallende symptom er avdøying av småplanter, samt hengende årsskudd på småtrær. Vedvarende tørkestress over flere uker gir gule og visne blader på løvtrær, mens bartrærne ofte får en forsinket effekt, med gulning og uvanlig sterk nålefalling på sensommeren og høsten (Figur 6a). Hos gran kan denne nålefallingen også føre til greinavdøying. Redusert barmasse gir redusert fotosyntese og primærproduksjon og dermed mindre karbohydrater tilgjengelig for produksjon av forsvarsstoffer, noe som svekker trærnes motstandskraft mot angrep av rotråtesopper og barkbiller. Tørkestress fører også til rotavdøying, og særlig finrøttene i humuslaget er utsatt. Slike rotskader følges ofte av angrep av honningsopp (*Armillaria spp.*) som kan gi toppskranting og avdøying av hele

trær (Figur 6b). Også andre råtesopper, da særlig rotkjuke (*Heterobasidion spp.*), kan angripe tørkeskadde røtter. Generelt kan angrep av råtesopper redusere trærnes opptak av vann og næringsstoffer og dette kan utløse toppavdøying og næringsmangel. Barkbilleangrep er hyppigere i tørkesomme, dels på grunn av at barkbillene favoriseres av varmt og tørt vær, og dels fordi trærne er svekket av tørkestress (Figur 6c). Skogbrann er ikke noe stort problem i Norge i dag, men opptrer i tørre perioder, og kan bli hyppigere i Sørøst-Norge i framtida.

En mindre kjent effekt av tørke er kavitasjon, som oppstår når strekk-kreftene på den stående vannsøylen i veden blir så sterke at vannsøylen ryker og det dannes luft- eller dampbobler. Det kan være vanskelig for trærne å restituere seg fra slike effekter, og i noen tilfeller settes deler av ledningsvevet i stammen ut av spill for godt, vanntransporten blir redusert, og resultatet er sterke skader i toppen av trærne.

Tørke kan føre til svært omfattende skader. Den mest omfattende tørkeskaden som er dokumentert på gran er fra områdene rundt Amur-elva i Russland og Kina i 1962, da 200–300 millioner m<sup>3</sup> gran og edelgran døde. I Europa er tørke kanskje den viktigste stressfaktor på skog, og 1976 og 2003 var to sterke tørkeår. Årringstudier fra blant annet Tyskland og Frankrike har vist at 1976 var et år med rekordsmale årringbredder og at det tok flere år før tilveksten var restituert. I 2003 var det ekstremt varmt og tørt over store deler av det kontinentale Europa, og året etter ble det i Tyskland registrert den høyeste andelen av grantrær med kroneutglisning på mer enn 20 år. I Norge er det først og fremst



Figur 6. Effekter av tørkestress: (a) gulning forut for nålefalling (foto: Svein Solberg, Skog og landskap), (b) toppskranting på grunn av honningsopp etter tørkestress (foto: Jens Arild Kroken, FMLA Aust-Agder), (c) angrep av dobbeltøyet barkbille etter tørkestress (foto: Svein Solberg, Skog og landskap).

i lavlandet på Østlandet og på Sørlandet at vanntilgangen er begrensende for skogens vekst. Åringsserier fra gran viser at tørt og varmt vær fører til redusert tilvekst på steder der normalverdien for junitemperatur er høy, det vil si mer enn 12.5 °C. I øvre deler av Gudbrandsdalen for eksempel, er klimaet svært tørt, med < 300 mm årsnedbør, og her finnes det ikke naturlig granskog.

Når det gjelder tørkesomre i Norge er 1947 rekordåret på 1900-tallet, og nålefelling og avdøying av grantrær var utbredt da. I årsmeldingen for perioden 1943–1947 skriver skogdirektør Schøyen følgende: «I løpet av ettersommeren og høsten har det jamnt over vært sterkt nålefall på grana, og over tørre rabber står mange steder både unggran og eldre trær mer eller mindre barløse og tørre». Liknende skader hadde vi også i 1955 og 1959. Når flere tørkesomre følger på hverandre får vi sterke tørkeskader, slik det var i perioden 1975–1977, da det var omfattende avdøying av gran, både med og uten medvirkning av barkbiller. Også i perioden 1989–1994 var det flere somre med tørkeperioder og en rekke rapporter og skadebefaringer, sammen med registreringene i Overvåkingsprogrammet for skogskader, viste at kroneutglisning og gul misfarging var utbredt, i tillegg til spredte angrep av barkbiller og honningsopp. Det var dessuten rekordhøy skogbrannfare på Gardermoen i juni 1992, og det oppsto flere skogbranner.

#### *Scenarium:*

Det ventes en økning av tørkestress i den sørøstlige delen av landet. Klimascenariet indikerer en generell økning i nedbør over hele landet og for alle årstider, men med et viktig unntak for Østlandet om sommeren. Der ventes det en reduksjon i nedbøren på 15 %. På Østlandet er vanntilgangen allerede en begrensende faktor for tilvekst hos gran, og dette, sammen med en forventet økning i sommertemperaturen, ventes å gi mer tørkeskader. På tørkesvak mark kan vi vente en gradvis tilbakegang for gran-skog til fordel for furuskog. Områder med høytstående grunnvannsspeil er også utsatt fordi rotsystemet er grunt. Fra barkbilleepidemien på 1970-tallet vet vi at Vestfold er et særlig tørkeutsatt område i Norge, på grunn av spesielle, oppsprukne bergarter, og et varmt og tørt sommerklima.

Etter tørkesomre kan vi i første rekke vente kroneutglisning og økt avdøying av småplanter i tillegg til spredte angrep av barkbiller og honningsopp, noe som igjen kan føre til avdøying av topper og hele trær. Redusert kronetetthet er i seg selv u dramatisk, men indirekte, gjennom økt risiko for råtesopp- og bark-

billeangrep, kan tørkeproblemene kan få betydelige konsekvenser. Tørke kombinert med økt stormfelling vil dessuten øke risikoen for barkbille-epidemier på gran, slik vi hadde på 1970-tallet. Vi må også regne med økt omfang av skogbrann i Sørøst-Norge, men neppe i samme grad som i Sør-Europa.

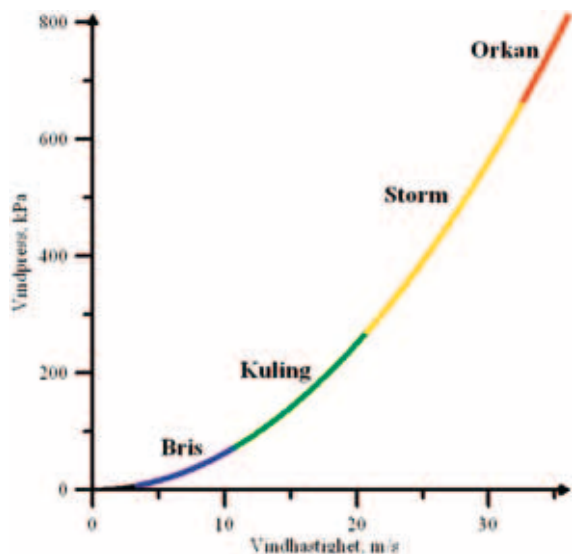
Økt CO<sub>2</sub>-konsentrasjon i atmosfæren får bladenes spalteåpninger til å holde seg mer lukket og gir redusert transpirasjon, og det har vært hevdet at dette vil redusere tørkeproblemer under en klimændring. Dette er neppe riktig. Vannhusholdningen for et enkelt blad (nål) blir riktig nok effektivisert på denne måten, men det samlede vannforbruket (per arealenhet grunn) ventes likevel å øke fordi CO<sub>2</sub>-økningen kan gi økt bladmasse.

Som nevnt kan tørke redusere tilveksten i skog og dermed redusere CO<sub>2</sub>-opptaket, men en mer ekstrem effekt er at skog faktisk kan bli en netto produsent av CO<sub>2</sub>. Det ble vist med målinger av CO<sub>2</sub>-flukser over skogområder i Europa i den svært tørre og varme sommeren 2003.

#### 3.1.3 Storm- og snøskader

*Omfanget av stormskader kan øke i årene framover særlig høst- og vinterstid. Årsakene er en svak økning i frekvensen av episoder med sterk vind, økt nedbørmengde, mer tien (uten tele) og våt jord vinterstid, samt en videre akkumulering av gammel granskog. Andre forhold som kan bidra til mer stormskader er kraftige nedbørepisoder og mer rot-råte.*

En typisk stormskade er vindfelling, men stammebrekk forekommer også, særlig når marka er frosset. Storm fører gjerne til noen totalskadde områder der stormen er på sitt sterkeste, fordi trærne velter hverandre ned. Snøskader forårsaker hovedsakelig toppbrekk. Skog i Norge er generelt utsatt for stormfelling, fordi skogsjorda generelt har liten dybde, med begrensede muligheter for dypt rotfeste. Nedbør før eller under en storm kan forsterke skadeomfanget på skog. Faren for rotvelt øker når jorda er vannmettet og rotfestet er svakt. Våt snø i trekronene øker vindfanget og utgjør en betydelig kraftkomponent når trærne svaier. Over skog vil maksimale vindkast ofte ha dobbelt så høy hastighet som middelvinden. Når vi opplever sterke skader ved vindstyrker rundt 25 m/s, så tilsvarer det gjerne vindkast på 40 m/s, slik at selv kuling kan gi mye skogskader. Skadeomfanget øker progressivt med økende vindstyrke, slik det er vist i figur 7. Som en illustrasjon på dette er det i Nederland beregnet at en økning i vindstyrke på to prosent kan gi 50 % mer stormskader på bygninger.



Figur 7. Vindpresset øker progressivt med økende vindstyrke, her illustrert ved en forenklet formel for vindpress på enkle konstruksjoner. Hva det reelle vindpresset på et tre ved en gitt vindstyrke blir, er vanskelig å modellere siden vindpresset varierer med vindkast, turbulens og svingninger i trærne.

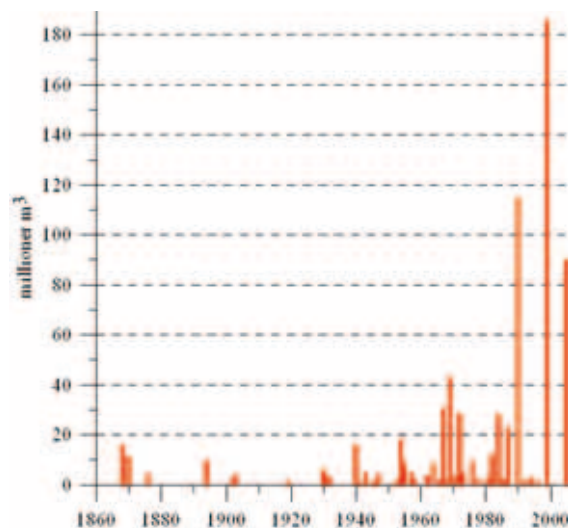
I tillegg til de direkte effektene av storm, kommer de indirekte, slik som sjørøkkskader, påfølgende barkbilleangrep, og økt risiko for erosjon og ras. Stormen i Akershus og Sør-Hedmark i november 1969 var en utløsende faktor for den påfølgende barkbille-epidemien i Sør-Norge på 1970-tallet. Stormskader fører dessuten med seg en rekke andre kostnader for skogbruket, slik som redusert tømmerpris som følge av store hogstkvanta, verditap på grunn av kvalitetsreduksjon, økte driftskostnader, mer lagringsskader, økte lagringskostnader og redusert omløpstid. Som eksempel falt tømmerprisene i Sveits med 35 % etter Lothar-orkanen i 1999. Etter orkanen på nordvestlandet og i Trøndelag i januar 1992, var det erstatningsutbetalinger på omkring 250 mill kr.



Figur 8. Eksempel på stormskade. Foto: Torfinn Bjelkåsen, Høgskolen i Trøndelag.

Storm er den mest omfattende skadeårsak på skog i Europa. Regnet i kubikkmeter utgjorde stormskader 53 % og snøskader 3 % av skogskadene i Europa de siste 50 år. Denne statistikken inkluderer de fleste typer akutte skogskader, det vil si skader som storm, skogbrann, barkbiller og snøskader, mens kroniske skader slik som rotråte, ikke er tatt med.

I Europa har omfanget av stormskader økt kraftig. I perioden 1870–1950 var stormskader relativt sjeldne og skadeomfanget var under 20 mill. kubikkmeter per storm. De siste 50 år har frekvensen av stormskader økt, og i Europa er det stormskader på skog nesten hvert år. Skadeomfanget per storm har også økt kraftig, helt opp til 180 millioner kubikkmeter. Dette tilsvarer ett eller flere års vanlig avvirkningskvantum i de hardest berørte landene. En kunne tenke seg at årsaken til økningen i stormskader er økt frekvens av sterk vind, men det er vanskelig å påvise en økning i frekvens eller intensitet av storm gjennom de siste 100 år. Tilfellene av ekstreme stormer er sjeldne, og det er vanskelig å avgjøre om de skyldtes tilfeldigheter eller om de er et resultat av en gradvis klimaendring. Økningen i mengden av skog, både når det gjelder kubikkmasse, skogareal og trehøyde, samt økningen i andelen bartrær er uten tvil en hovedårsak til mer stormskader nå enn før (Figur 9).



Figur 9. Omfanget av stormskader på skog i Europa 1870–2005.

#### Scenarium:

Vi kan vente en økning i omfanget av stormskader – særlig om høsten og vinteren. Høyere temperatur og mer nedbør om høsten og vinteren vil gi dårligere

rotfeste. Sterke nedbørepisoder og mer mildvær vil gi mer våt og tung snø på trærne, og dette vil forsterke kreftene på trærne og dermed skadeomfanget. Selv om ikke vindstyrken ventes å øke særlig mye, vil den ventede økningen i nedbørmengde kunne bidra til mer stormskader. En videre akkumulering av gammel granskog, slik vi ser i dag, vil også bidra til økt skadeomfang. Det er usikkert om vi får noe spesielt geografisk mønster for stormskadene, men de kan komme til å øke mest på Vestlandet, der vindstyrken og nedbørmengden i utgangspunktet er høyest og jorda kan være tien (ikke tele) gjennom store deler av året, og der akkumulering av stående kubikkmasse med gran er særlig stor. Skogstrøkene på Østlandet (og i Trøndelag) har store arealer med granskog, og høy forekomst av rotråte er en betydelig risikofaktor her.

### 3.2 Insektskader

Paal Krokene, Bjørn Økland og Erik Christiansen, Skog og landskap

*Dersom vi får et varmere klima er noen effekter tilnærmet sikre, slik som at mange insekter vil øke sin utbredelse mot nord, og at utviklingen fra egg til voksent insekt vil gå raskere. På et generelt plan er slike direkte klimaeffekter lette å forutsi, men for å kunne si noe presist om hvordan det vil slå ut for den enkelte art trenger vi mer detaljert kunnskap om blant annet temperaturkrav. Skadeinsektene lever i et samspill med sine vertstrær, naturlige fiender og konkurrenter, og klimaendringer vil også påvirke dette samspillet. Slike indirekte klimaeffekter kan få store konsekvenser, men er vanskeligere å forutsi enn de direkte effektene.*

Klimatiske forhold har både direkte og indirekte effekter på insekter og andre organismer. For insekter som lever på trær virker klimaet *indirekte* gjennom effekter på naturlige fiender (predatorer, parasitter, sykdommer), konkurrerende arter, og vertstreets motstandskraft mot angrep. Det virker også *direkte* på insektene gjennom effekter på overlevelse, reproduksjon, aktivitetsnivå og spredning. Direkte og indirekte klimaeffekter kan ha både positive og negative virkninger. Noen insekter vil få redusert overlevelse i et mildere klima der vintertemperaturen svinger rundt null, siden stabilt kalde vintre som regel er best for insektenes overvintring. Andre arter som lever nær nordgrensen for sin utbredelse vil få bedre kår og vil kunne spre seg nordover hvis klimaet blir mildere.

Insekter som lever på skogstrær kan deles inn i (i) primære arter som er i stand til å angripe friske, uskadde trær, (ii) sekundære arter som er avhengige av at treet er svekket av andre faktorer, slik som ekstreme værforhold, andre insekter eller patogener, og (iii) tertiære arter som lever i helt dødt trevirke. Det er blant de primære og sekundære insektene vi finner arter som kan forårsake skadeproblemer i et endret klima.

Fordi insekter er vekselvarme dyr er de direkte effektene av klima svært viktige for deres utvikling og aktivitetsnivå. Insektenes høye reproduksjonsrate, korte livssyklus og gode spredningsevne bidrar til at de kan reagere raskt selv på små endringer i klimaet. Spredning nordover forekommer allerede i dag, og en omfattende studie av sommerfugler i Nord-Europa viste at 23 av 35 undersøkte arter hadde flyttet sin utbredelse 35 til 240 km mot nord i løpet av de siste 30 årene. I Canada har barkbillen «Mountain pine beetle» (*Dendroctonus ponderosae*), som er et av barskogens aller mest destruktive skadeinsekter, blitt funnet lenger mot nord de siste årene enn noen gang tidligere.

I tillegg til å påvirke insektenes utbredelse kan et mildere klima også føre til endringer i deres utviklingshastighet. For eksempel kan arter som i dag bruker et år på å gjennomføre sin utvikling fra egg til voksen (univoltine arter) i fremtiden rekke å gjennomføre to generasjoner per år (bivoltinisme). Granbarkbillen, som er et av de alvorligste skadeinsektene i våre skoger, er en art der vi kan forvente slike endringer i utviklingsmønsteret. Den har i dag to generasjoner per år lenger sør i Europa, og grensen for bivoltinisme går så langt nord som i Danmark. Med to generasjoner av granbarkbillen vil vi få to angrepsperioder per sommer: en tidlig på sommeren, slik som i dag, og en ny periode i august/september. Dette kan få alvorlige konsekvenser for skogbruket, fordi grana ser ut til å være mindre motstandsdyktig mot angrep senere på sommeren.

#### 3.2.1 Eksempler på skadeinsekter som kan få økt betydning

Det kan være hensiktsmessig å dele potensielle skadegjørere som kan nyte godt av et endret klima inn i tre grupper, ut fra om de forekommer naturlig i Norge og om de har status som skadedyr hos oss:

*Naturlig forekommende arter som har hatt utbrudd i Norge tidligere:* Noen aktuelle arter i så måte er rød furubarveps, furuspinner, fjellbjørkmåler og flere barkbillearter, deriblant granbarkbillen.

*Arter med sørlig utbredelse i Norge, som har gjort skade i våre naboland men ikke hos oss, og som kan spre seg nordover.* Slike arter kan bli plagsomme i varme og tørre perioder. Hvordan deres naturlige fiender vil påvirkes av et endret klima kan bli avgjørende for hvor alvorlige angrepene vil bli. Aktuelle arter i denne sammenheng er furumåler, barskognonne og vanlig furubarveps.

*Skadegjørere som kan etablere seg i Norge gjennom handel med skogsprodukter.* Det er også en fare for at nye, skadelige arter kan komme inn i landet gjennom import av tømmer eller treemballasje. Flere arter av fremmede barkbiller og sibirfuruspinner er potensielle skadegjørere.

#### *Scenarium*

Som nevnt tidligere under tørke og storm, ventes det økt omfang av tørkestress og tørkeskader på gran i lavlandet i Sørøst-Norge, og en viss økning i omfanget av stormskader. Dette er faktorer som kan legge forholdene til rette for flere arter av barkbiller. Stormfelling og langvarig tørke er de viktigste faktorene for oppformering av granbarkbiller (*Ips typographus*). Billene yngler normalt i tykk bark på vindfelte trær, men kan under epidemiske forhold bli tallrike nok til å drepe levende skog i stort omfang (Figur 10 d). Dette skjedde etter storstormen i november 1969 og de påfølgende tørkesommere på 1970-tallet, og liknende forløp er kjent fra andre deler av artens utbredelsesområde.

*Den lille granbarkbiller (*Pityogenes chalcographus*)* er Norges vanligste barkbille og yngler i mer tynnbarkedede deler av vindfall og i avbrukne topper. Under vanlige klimaforhold klarer den ikke å overvinne levende trær, men tørkestresset ungskog kan trolig bli offer i tørre somre.

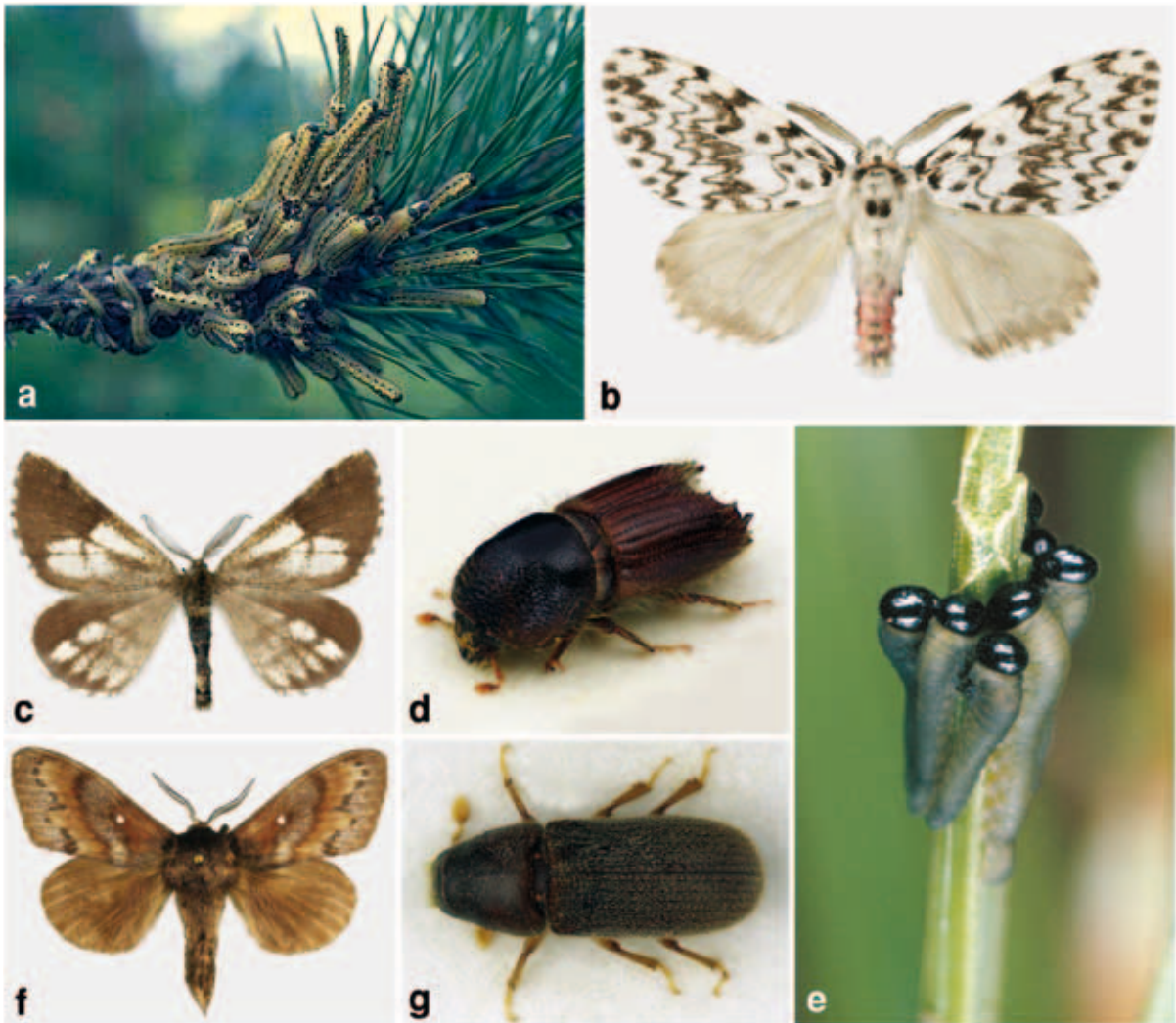
*Den dobbeltøyde barkbiller (*Polygraphus poligraphus*)* kan angripe og drepe sterkt tørkestressede graner på ettersommeren, slik den gjorde på midten av 1970-tallet. Økende tørkestress på skogen vil derfor føre til økt risiko for angrep av denne arten (Figur 10 g).

Blant de nåleetende insektene finner vi flere skadegjørere som kan drepe skog over store områder. Hos oss er det hittil bare rød furubarveps som har hatt hyppige masseopptredener, men dette kan endre seg hvis vi får et varmere og tørrere klima. Våre naboland har hatt angrep av flere arter som vi hittil stort sett har vært spart for, og i de neste avsnittene vil vi kort ta for oss de mest aktuelle artene.

*Furuspinner (*Dendrolimus pini*)* er et av de verste skadeinsektene i Europas furuskoger (Figur 10 f). Denne sommerfuglen har hatt alvorlige herjinger i Sør-Norge, men det har gått svært lang tid mellom hvert tilfelle. I årene 1812–16 hjemsøkte den Glåmdalen og Hedemarken, og herjet verst i Elverum og Løten. I 1902–04 slo den til igjen, med angrep fra Åsnes/Våler i sør til Stor-Elvdal i nord, og fra Romedal/Løten til svenskegrensen. Under angrepene i Løten allmenning ble mye av skogen reddet etter iherdig innsats, blant annet ved bruk av limringer på furustammene. Andre steder i distriktet, hvor angrepene fikk gå sin gang uten motiltak, døde furua i stort omfang. Forut for utbruddet i 1902 hadde det vært flere år med lite nedbør, og vannstanden i Glomma var rekordlav. Også andre steder i Europa har man merket seg sammenhengen mellom langvarig tørke og furuspinnerangrep, men det er likevel forhastet å slutte av dette at langvarig tørke fører til angrep. De hardeste tørkeperiodene som er registrert på Østlandet var i 1840- og 1970-årene, og da hadde vi ikke utbrudd av furuspinneren. Vi må derfor konstatere at vi ikke har tilstrekkelig kunnskap til å forutsi utbrudd av denne arten.

*Barskognonne (*Lymantria monacha*)*, som ofte bare kalles nonnen, er en sommerfugl som vi kan finne her og der på Østlandet, i Telemark og i Agder-fylkene (Figur 10 b). Den har til nå ikke skadet skogen i Norge, men lenger sør i Europa, særlig i Polen og Nord-Tyskland, har den gjort enorme skader. Svevige har også hatt flere utbrudd av nonnen, og omkring år 1900 var skadene meget omfattende. Et forhold som gjør nonnen spesielt truende er at den er såkalt polyfag og kan angripe både gran, furu og andre bartrær. Larvene snaueter barmassen, særlig på tørr og mager mark. I et varmere klima kan arten spre seg nordover og kan kanskje nå et skadelig nivå under tørkeperioder, men vi vet ikke sikkert hvilke faktorer som legger til rette for masseangrep av nonnen.

*Furumåler (*Bupalus piniaria*)* er en sommerfugl som er utbredt i skogen i hele Sør-Norge, men uten å gjøre skade (Figur 10 c). I Sverige har den hatt gjentatte angrep, sist i 1996 da 7 000 ha furuskog ble angrepet på Hökensås vest for Vättern, i et område som har hatt flere herjinger tidligere. Ved Hökensås var det også en stor bestand av stor og liten margborer (*Tomicus piniperda* og *T. minor*), og svenske entomologer fryktet at ribbete trær ville bli offer for disse barkbillene. Det stemte for så vidt, men margborerne klarte bare å erobre trær som hadde mistet mer enn 90 % av barmassen.



Figur 10. Eksempler på skadeinsekter som allerede finnes i Norge og som kan gi sterkere skader ved et endret klima: (a) vanlig furubarveps, (b) barskognonne (hann), (c) furumåler (hann), (d) granbarkbille, (e) rød furubarveps, (f) furuspinner (hann), (g) dobbeltøyet barkbille. Alle foto: Skog og landskap. Foto b, c og f: Vladimir Kononenko, Naturhistorisk museum; foto d: Karsten Sund, Naturhistorisk museum; foto g: Lars Sandved Dalen, Skog og landskap.

*Vanlig furubarveps* (*Diprion pini*) har et uheldig navn, ettersom *rød furubarveps* (*Neodiprion sertifer*) er mye vanligere hos oss (Figur 10 a, e). Til gjengjeld er angrep av vanlig furubarveps mye mer skadelige enn rød furubarveps. Det skyldes forskjeller i de to artenes levevis: larvene til den røde furubarvepsen eter først fjorårsnålene og dernest eldre nåleårganger; bare under sterke angrep går den løs på årets nye nåler. Dessuten slutter larvene å ete i midten av juli, før de rekker å skade nålenes vekstpunkt. Dermed kan nålene strekke seg en god del etterpå, og trærne står i verste fall igjen med én årgang avkortede nåler om høsten. Det er nok til at nesten alle overlever. Larvene til vanlig furubarveps opptrer derimot på sensommeren; de eter nåler av alle årganger, og kan ribbe trærne fullstendig. Dermed må angrepne trær bygge opp en helt ny

barmasse neste vår. Det er det mange trær som ikke klarer, og dødeligheten blir stor. I Finland var det på 1990-tallet uvanlig store herjinger av vanlig furubarveps, en art som tidligere ikke hadde gjort mye skade. I områder hvor barvepsen ikke ble bekjempet ble et stort antall trær helt ribbet for nåler, mange døde, og overlevende trær var truet av margborer-angrep. Men også her drepte margborerne bare trær som hadde mistet mer en 90 % av barmassen. Det har vært antydning at angrep av vanlig furubarveps kan bli utløst av varmt og tørt vær, men det er langt fra sikkert at det forholder seg slik. I Norge har vi sett lite til vanlig furubarveps, selv om det var noen mindre utbrudd på Østlandet samtidig med herjingene i Finland på 1990-tallet.

*Sibirfuruspinner* (*Dendrolimus sibiricus*) er en nær slektning av vår hjemlige furuspinner (*Dendrolimus pini*), og er en art vi svært nødig vil få inn i landet. Navnet er misvisende, ettersom den kan leve på de fleste bartrær, inkludert vår hjemlige furu og gran. I løpet av en 25-års-periode (1932–57) angrep den 7 millioner ha (like mye som Norges produktive skogareal) i vest-Sibir og Kina, og den forårsaket omfattende skogdød i halvparten av dette området. Vi kan risikere å få arten hit til landet med furutømmer fra Russland, og siden den har omtrent samme livssyklus som vår furuspinner er det sannsynlig at den vil trives hos oss. I så fall kan den gjøre verre skade enn furuspinneren, fordi den altså angriper begge våre viktige bartreslag. Denne arten kommer nå med på den listen over uønskede arter som utarbeides av den europeiske plantevernorganisasjonen EPPO.

### 3.3 Soppsykdommer

Kåre Venn, Skog og landskap

*Det ventede tørrere sommerklimaet i Sørøst-Norge kan øke frekvensen av rotråte og honningsopp; dels ved økning i tørkeskader på røtter, dels ved kronutglisning og dermed lavere forsvarsevne. Økt omfang av vinterskader kan øke omfanget av knopp- og greintørkeangrep på furu. Lengre og varmere vekstsesong vil gi mange sopper, blant andre almesykesoppen, bedre mulighet til å skade skog.*

Det er med trær som med mennesker, de angripes til tider av sykdommer, og lider mer eller mindre av det. De fleste av trærnes sykdommer forårsakes av sopper, enten slike som hører hjemme hos oss eller som kommer snikende ifra andre steder. Soppene er i sin natur nedbrytere, de lever på det materiale som andre organismer har bygget opp. Noen kan drepe de angrepne trærne, andre danner sykdom med kroniske skader. Det finnes et stort antall sopper i naturen, og de fleste er nokså ufarlige nedbrytere av organisk materiale som bidrar til å skape næring for blant annet trær. Noen sopper er direkte nyttige for trærne, ved at de lever i samliv med røttene (mykorrhiza) og hjelper til med næringsopptaket.

Omfanget av soppskader på skog i Norge har hittil i liten grad blitt systematisk registrert. Likevel er det kjent at store skader har rammet skog på ulike utviklingsstrinn. En rekke skadegjørere kan angripe spirende, ungt plantevev og ødelegge småplanter i planteskoler og i foryngelser. Eksempel er gråskimmelsoppen (*Botrytis cinerea*). Når plantene blir

eldre og større, vil de ha bedre motstandsevne mot soppene, men de vil fortsatt være ømfintlige for enkelte som angriper det yngste vevet (nåler, knopper, skudd og bark). Eksempler er knopp- og greintørkesoppen (*Gremmeniella abietina*), tyritoppoppene (*Cronartium flaccidum/Peridermium pini*), lokkrustsoppen (*Thekopsora areolata*), furuskyttesoppen (*Lophodermium seditiosum*), snøskyttesoppen (*Phacidium infestans*) og gråbarsoppen (*Lophodermella sulcigena*).

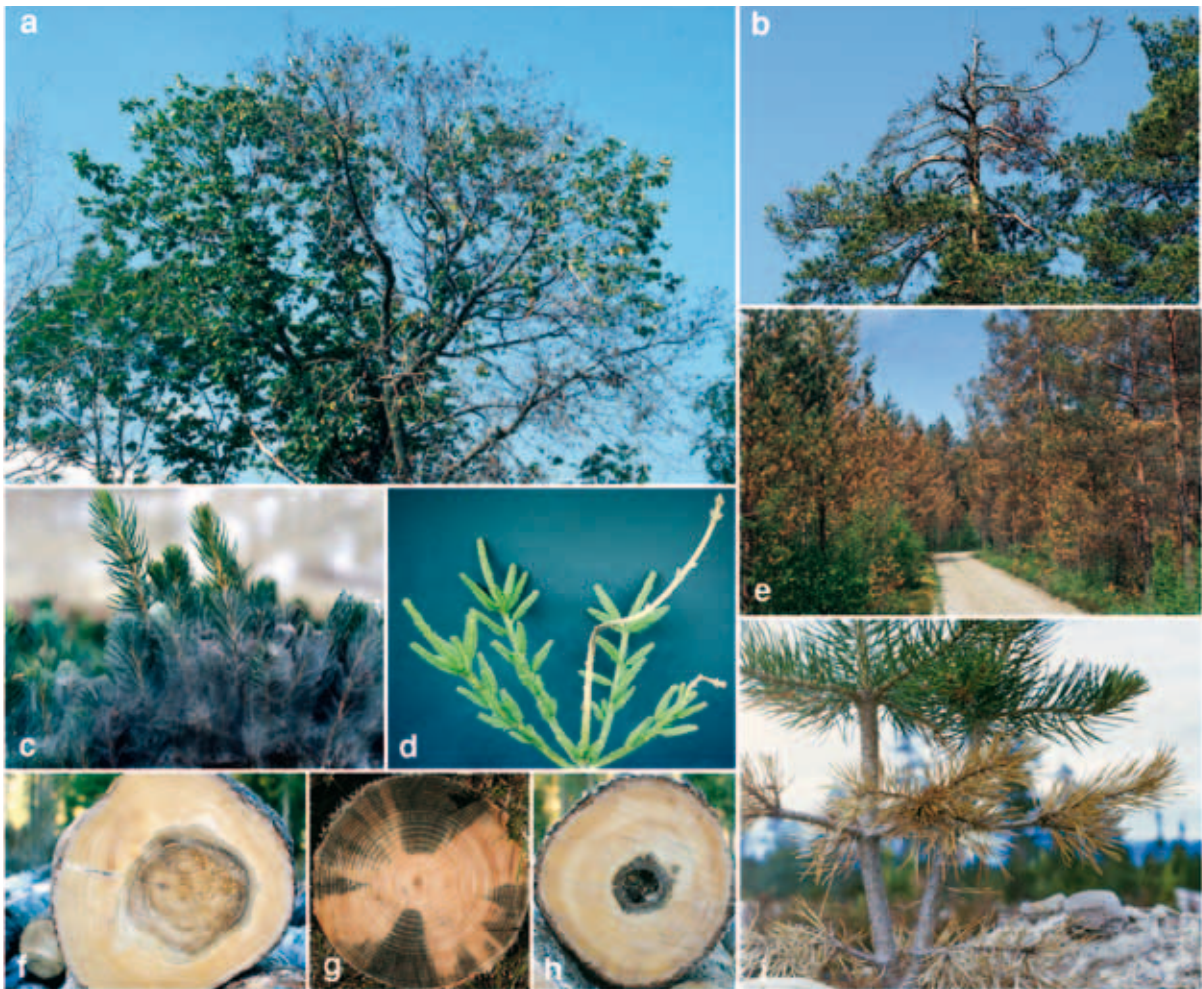
I de senere årene har flere av disse gjort betydelig skade (se Figur 11).

Furas knopp- og greintørkesopp hadde noen kraftige angrep i årene 2001–2003, hvor særlig ungfuru sto brun, og mange trær døde, både i Sørøst-Norge og i Midt-Sverige. Det angrepne området i Sverige er estimert til ca. 450 000 ha, og tapet er beregnet til opp mot 1,3 milliarder SEK. For Norge er tallene noe lavere, men likevel betydelige. I 2002 angrep bjørkerustsoppen (*Melampsorium betulinum*) store områder med bjørkeskog i de nordlige deler av Norge og i høyreliggende strøk i Sør-Norge. Gulfarging av granskog var også utbredt i samme tidsperiode, etter sterke angrep av granrustsoppen (*Chrysomyxa abietis*). Når blad- eller nålemengde reduseres, minker trærnes tilvekst.

Rotråte, forårsaket av rotkjuke (*Heterobasidion* spp.) eller honningsopp (*Armillaria* spp.), er den viktigste sykdommen på barskog i Norge. Den kan føre til holtvise avdøinger i unge bestand, som derved får endret struktur og tilveksttap. Når de gjenlevende trærne i et bestand blir større, vil deres røtter ha en økende risiko for angrep av rotråte og såråte (toppråtesoppen – *Stereum sanguinolentum*). Rotråte fører lettere til rotvelt i sterk vind, foruten at angrepet på sikt er dødelig for trærne.

Eldre skogbestand akkumulerer diverse sykdomstilstander. Dette går klart frem av Landsskogtakseringens materiale, som viser mest sykdom i de eldste hogstklassene. Forholdet kommer klart til uttrykk når slutthogster foretas og tømmeret skal kvalitetsvurderes. Stubbeundersøkelser har vist at ca. 27 % av trærne har en eller annen form for misfarging nederst i rotstokken (rotråte, såråte), noe som gir betydelig nedslag i sagtømmerets pris (fra prima til sekunda eller vrak, eventuelt må en del av stokken kappes vekk). Tyritopp og toppråte etter toppbrekk utgjør en del av skadene, men rammer som regel bare massevirket.





Figur 11. Noen soppsykdommer som gir dramatiske skader på trær: (a) almesyke, dødelig angrep på stort tre; (b) tyritopp, toppen drept på stor furu; (c) gråskimmel, nålene drept på små granplanter; (d) lokkrust, toppskuddet drept på ung gran; (e) knopp- og greintørke, voldsomt angrep på ung furuskog; (f) rotkjuke, sentral råte i granstamme; (g) blåved i tømmerstokk; (h) honningsopp, sentral hulråte i granstamme; (i) snøskytte, drept bar på småfuru. Foto: a,c Kåre Venn; b Dan Aamlid; d-h Halvor Solheim; i Finn Roll-Hansen

Soppenes vekst og utvikling er direkte avhengig av temperaturen. De fleste har sin beste utvikling ved høyere temperatur enn det som har vært vanlig i Norge. En økning i sommertemperatur kan derfor bety bedre forhold for de fleste soppene. En lengre vekstsesong virker likedan positivt. Uttørking er uheldig for soppene, mens fuktigere vær vil virke positivt. Samtidig vil den nåværende økningen i luftens innhold av CO<sub>2</sub> bare forbedre soppenes livskår, fordi de fleste sopper som er undersøkt viser bedre vekst ved høyere CO<sub>2</sub>-nivå. Den klimaendring som ventes ser derfor ut til å øke risikoen for soppskader på skogen.

Indirekte vil soppenes mulighet til å angripe våre skogstrær også være avhengig av trærnes motstandsevne, og den kan endres i et endret klima. Et varmere klima vil føre til raskere vekst hos trær. Bartrærne danner da en løsere ved, noe som vil lette

utbredelsen i stammeveden av rotkjuke og andre vedboende sopper. Større svingninger i værforholdene, særlig høst og vår, vil øke sjansen for misforhold i herdighetsutvikling og lettere føre til modningsbetingete skader ved uventet frost. Slike tilstander gir angripende sopper bedre muligheter for å trenge inn i plantevevet og utvikle sykdom. Eksempler er knopp- og greintørkesoppen, og furuskyttesoppen, som begge i senere tid har hatt sterke angrep etter unormale innvintringsforhold.

#### Scenarium:

Norge har sin naturlige flora av sopper, som er mindre artsrik enn i sørligere og varmere strøk. Våre opprinnelige sopparter vil neppe bli hemmet av den forventete klimaendringen, men ventes heller å ha fordel av den, fordi soppenes vekstsesong blir lengre og varmere.

Vi må imidlertid regne med et større påtrykk fra utenlandske arter som vandrer nordover og inn i vårt land når et varmere klima tillater det. Flere sørlige sopparter vil kunne angripe skogstrær og trevirke i større grad enn nå, for eksempel kløyvsopp (*Schizophyllum commune*) og andre lauvtresopper som da kan angripe også bartrevirke.

Når det gjelder faren for omfattende skogskader på grunn av sopp sykdommer i et klimaendringsscenario, synes den å være størst for knopp- og greintørkesoppen. Mildere vintre øker sjansen for frostska-der på grunn av vekslinger mellom pluss- og minusgrader og for tidlig vekststart. Vi må regne med at dersom vi får frostska-der på furu, så vil disse furutrærne angripes av knopp- og greintørkesoppen slik vi fikk demonstrert i 2001, da denne soppen førte til store skader over deler av Norge og Sverige. Et generelt varmere og fuktigere sommerklima kan føre til mer angrep av sopp sykdommer direkte på bar og blader, slik som granrust, bjørkerust og gråskimmel.

I Sørøst-Norge ventes et tørrere og varmere sommerklima. Dette vil øke almesykesoppens (*Ophiostoma novo-ulmi*) mulighet for spredning nordover i landet, blant annet gjennom utvidelse av leveområ- det for dens smittebærere blant almesplintbo- rerne. Dette vil også øke faren for angrep av råte- sopper på rotsystemet. Først og fremst vil tørkesvekkede røtter hos gran lettere angripes av honningsoppens aggressive type, som gir sterke rotska-der og tredød. Tørkeskadde røtter kan også lett infiseres av rotkjuke, og dette kan øke omfanget av kroniske råteska-der på gran. Tørke som gir kroneutglisning svekker også trærnes forsvarsevne mot slike angrep.

Ferskt trevirke som lagres angripes lett av vedbo- ende sopper, særlig fargeska-der (blåved), men etter hvert også råtesopper som reduserer holdbarheten. Dette har vært til ulempe for kvalite- ten på tømmer som hogges og lagres i skogen i sommerhalvåret. Hogst av furu (og gran) har derfor vært regulert, slik at den først skulle foregå etter skikkelig omslag til vinterkulde om høsten. I stabilt vinterklima har vi i Norge ikke hatt problemer hittil med soppangrep på nyhugd trevirke, slik som i sør- ligere land. Dette vil endres i et klima med en mil- dere eller kortere vinterperiode.

Flytting av fremmede treslag fører gjerne til at tre- slagets opprinnelige sykdommer følger med. Eksempler er douglaskreftsoppen (*Phacidium con- iferarum*), som angriper både douglas og furu i Norge, edelgranskuddsykesoppen (*Delphinella abietis*) og lerkekreftsoppen (*Lachnellula willkom- mii*). En særlig risiko ligger i den økte faren for over- føring av farlige fremmede sopparter fra andre kon- tinentene. Historiske beretninger viser hvilke store uforutsette skader slike overføringer har forårsaket. Eksempler er kastanjekreftsoppen (*Cryphonectria parasitica*), weymouthfuru rustsoppen (*Cronartium ribicola*) og almesykesoppen; den sistnevnte utgjør stadig en trussel mot Norges almeforekomster.

Et annet eksempel er furuvednematoden (*Bursap- helenchus xylophilus*), som opprinnelig fantes bare i Nord-Amerika, men som har blitt spredt til Japan og Kina og har gjort stor skade på skog der og i nær- liggende land med mildt klima. Import til Europa av tømmer fra angrepne områder har vært forbudt i mange år. Til tross for det er organismen for få år siden funnet i Portugal, trolig innført med tømmer. Et varmere klima vil øke risikoen for spredning av skadegjøreren til områder lenger nord i Europa.

## 4 OVERVÅKING AV SKOGENS HELSETILSTAND

### 4.1 Fjernmåling av skogens helsetilstand

Svein Solberg, Skog og landskap og Hans Tømmervik, Norsk institutt for naturforskning

*Fjernmåling er en metode som har et stort potensial når det gjelder overvåking av skogens helsetilstand, men metodeutvikling er nødvendig. Heldekkende, årlig overvåking av skogarealet kan gjennomføres ved hjelp av satellittdata. Flybårne sensorer kan benyttes i et samplingsbaserte opplegg. I tillegg kan spesielle skadeområder dekkes på ad-hoc basis med flybårne sensorer.*

I flere land brukes fjernmåling i dag for kartlegging og overvåking av skogskader, men kun for noen skadetyper, som skogbrann og barkbilleangrep, og ofte på ad-hoc basis. Metodene for fjernmåling av skog er i rask utvikling og blir tatt i bruk i økende grad. Fjernmåling gir mange muligheter for kartlegging og overvåking av skogens helsetilstand. Sensorer i satellitter og fly kan gi informasjon om de effektene klimaendringer har på vegetasjon, men det kan også gi informasjon om skogskader forårsaket av insekt- og soppangrep, eller beregne omfanget av tørkeskader og skogbrann.

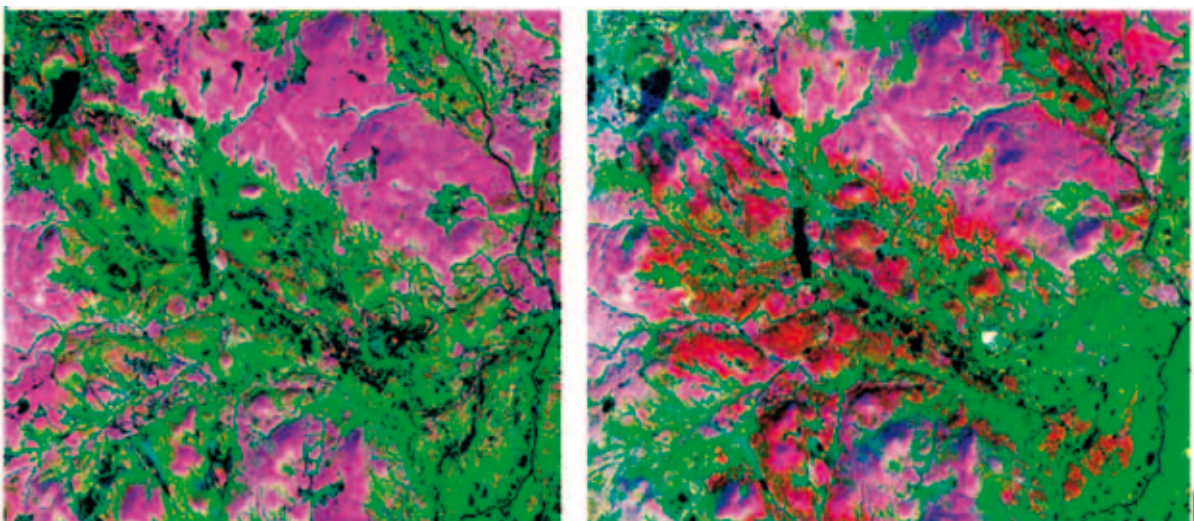
Prinsippene for fjernmåling er at skader og stress på skog endrer graden av refleksjon (reflektans) for elektromagnetisk stråling (lys). Dette kan skje ved at biomassen blir redusert (kroneutglisning, avdøying), eller fordi biokjemiske eller fysiske egenskaper endres i vegetasjonen, og dette påvirker reflektansen. Reflektansen, og endringer i denne, varierer gjerne med bølglengde. Et hovedmønster er at frisk, klorofyllholdig vegetasjon har lav

reflektans for synlig lys og for kortbølget infrarødt lys (SWIR), men høy reflektans for nærinfrarødt lys (NIR). Dette mønsteret endres ofte ved skader og stress på vegetasjonen. Det finnes en rekke vegetasjonsindekser som fanger opp slike endringer, som Normalized Differential Vegetation Index (NDVI). Det er derfor vanlig i fjernmåling å benytte multi- eller hyperspektrale målinger med opp til 250 ulike bølglengdebånd, hvor SWIR og NIR inngår som viktige bølglengdeområder. En aktiv sensor, som en laserskanner, er også basert på refleksjon av elektromagnetisk stråling, men er for øvrig bygget på helt andre prinsipper, og gir først og fremst informasjon knyttet til 3D-egenskaper. Kronetakets tetthet for lasergjennomtrengning kan omregnes til barmasse per arealenhet, noe som er nært knyttet til kronetetthet.

Satellitter egner seg godt for rutineovervåking av større områder fordi de går i faste baner og fordi datakostnadene er lave. Satellittdata kan gi heldekkende datasett rutinemessig for hele skogarealet, det vil si uten sampling. Data fra flybårne sensorer kan benyttes på mindre områder eller ved samplingbaserte opplegg, på grunn av høyere kostnader. Data fra flybårne sensorer kan også brukes for tilleggskartlegging på ad-hoc-basis over begrensede områder.

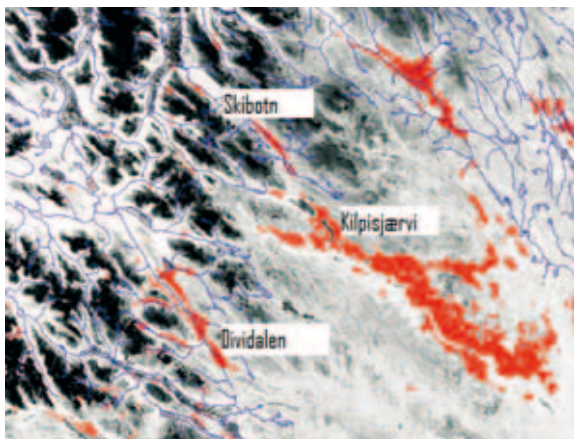
#### 4.1.1 Eksempler på anvendelse av fjernmåling for overvåking og kartlegging av skoghelse:

*Insekter:* I USA har satellittdata (Landsat og Spot) vært brukt til kartlegging av skogskader etter sterke insektangrep forårsaket av avnålings- og avbladingsinsekter og barkbiller. Barkbilleangrep kan



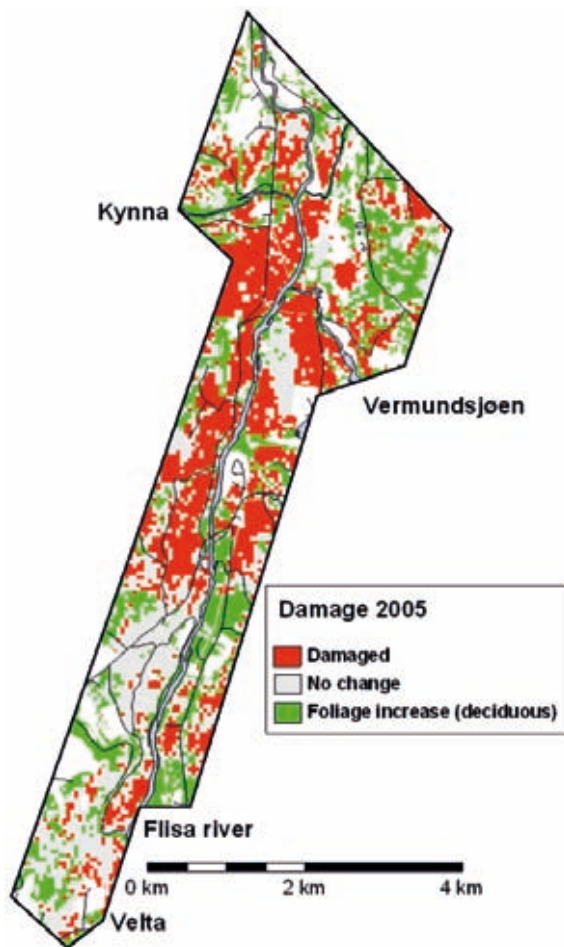
Figur 12. Eksempel på bruk av Landsat-bilder til kartlegging av skader forårsaket av fjellbjørkemåler. Bildet til venstre viser intakt bjørkeskog i 1990 og høyre bilde viser skadet vegetasjon (i rødt) etter insektangrepet i 1994. Fra Pulsujärvi i Karesuando, Sverige.

føre til endring i fargen på barnålene, og i Canada benyttes høyoppløselige data fra satellitten Ikonos til å kartlegge tidlige faser av slike angrep. I Finland, Sverige og Norge har Landsat- og Modis-data vært benyttet til registrering av masseangrep av fjellbjørkemåler (*Epirrita autumnata*) og liten frostmåler (*Operophtera brumata*) (Figur 12 og 13). Hyper-spektrale data tatt opp fra fly brukes i USA til å kartlegge kroneutglisning forårsaket av praktbille (*Agrilus planipennis*).



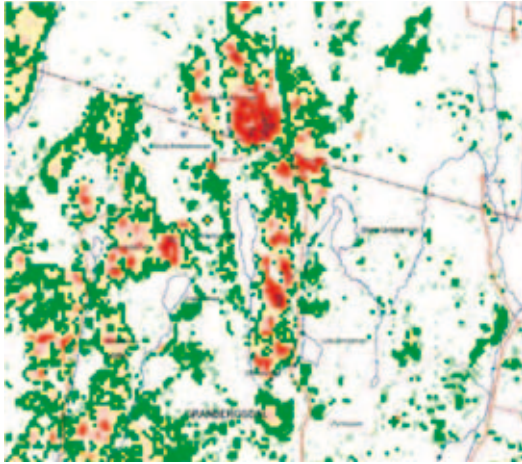
Figur 13. Eksempel på bruk av MODIS-satellittdata til studier av vegetasjonsskader forårsaket av fjellbjørkemåler. Områdene presentert i rødt viser resultatet av masseangrep i grensetraktene mellom Norge, Sverige og Finland i 2004. Opptak fra år 2000 er brukt som kontroll.

I Norge har flybåren laserskanning vært benyttet til kartlegging av skader forårsaket av rød furubarveps. I Åsnes kommune på Hedmark forårsaket rød furubarveps i 2005 en kraftig avnåling i store områder med furuskog. Kroneutglisningen øker andelen laser-ekko fra bakken, og på denne måten kan skadeomfanget kartlegges (Figur 14).



Figur 14. Eksempel på bruk av flybåren laserskanning til kartlegging av rød furubarvepsangrep i Åsnes, 2005. Kartet viser endring i bladarealindeks (LAI) fra mai til august og kjerneområdet for skaden er vist med rødt farge. Elva Filsa går midt gjennom området.

**Sopp:** I Sverige har man siden 1999 kjøpt inn satellittbilder for hele landet. Disse dataene har blant annet vært brukt til å kartlegge angrep av furuas knopp- og greintørkesopp (Figur 15). Metoden da er at soppangrepet fører til økt reflektans for kortbølget IR-lys (SWIR). I British Columbia i Canada brukes flybilder til å identifisere omfanget av råteskader i enkelttrær av douglas-gran ut fra endringer i reflektans for rødt og nærinfrarødt lys.



Figur 15. Eksempel på bruk av Satellittdata (SPOT) til kartlegging av sopp-skader. Rødt markerer områder med sterke skader forårsaket av furuas knopp- og greintørkesopp. Kilde: Pär Nyman, Skogsstyrelsen.

*Klimaskader:* Tørkestresset vegetasjon kan oppdages ved hjelp av fjernmåling, ved at reflektansen for infrarødt lys påvirkes av bladverkets temperatur og vanninnhold. Omfanget av skogbrann kan også kartlegges ut fra samme prinsipp, både under og etter en brann. I Canada har radardata fra ERS-satellitten vært brukt til å overvåke fryse-tinsekvenser som kan gi omfattende skogskader. Når vannet i vegetasjonen fryser til is reduseres tilbake-spredningen av radarsignalene.

*Generelle skoghelsevariabler:* Satellittmålinger av bladarealindeks og klorofyllkonsentrasjon kan gi informasjon om skogens generelle helsetilstand.

#### 4.1.2 Vurdering av bruken av fjernmåling til overvåking av skoghelse:

Satellitter brukes til kartlegging av spesielle skadetyper i skog og ofte kun på ad-hoc-basis, mens stor-skala rutinemessig overvåking av uspesifikke helsevariable utføres av personell på bakken på permanente felt. Dette er et paradoks: Satellitter går i faste baner i år etter år og med samme instrumentering er velegnet til rutinemessig overvåking av store områder, mens bakkepersonell er mest velegnet til å registrere årsaksspesifikke data på ad-hoc basis, så som identifisering av skadesymptomer, insekter og sopper.

Så langt vi vet er situasjonen i andre land at ingen ennå bruker fjernmåling rutinemessig over hele skogarealet for overvåking av skogens generelle helsetilstand. Vegetasjonsindekser fra MODIS satellittdata har imidlertid vært lansert som en mulig metode for en helseovervåking av vegetasjon gene-

relt. Det er mange aktiviteter i gang for ad-hoc-kartlegging av enkelte skadetyper i enkelte områder. Det foregår også en rutineovervåking av noen spesielle skadetyper, hovedsakelig skogbrann. Lengst har man kommet i Canada, USA og Sverige. I Canada utvikles et nytt program, «Earth Observation for Sustainable Development of Forests (EOSD)», og i USA og Sverige har man også kommet langt i å ta i bruk satellittdata for skoglige formål, hvor også skogskader inngår. Men landsomfattende overvåking av skogens generelle helsetilstand basert på fjernmåling gjøres altså ikke. I Europa, Nord-Amerika og deler av Øst-Asia utføres dette ved subjektive registreringer av personell på bakken, i samplingbaserte opplegg av permanente overvåkingsfelt.

En fjernmålingsbasert skoghelseovervåking kan baseres på passive sensorer (kameraer) og vegetasjonsindekser beregnet fra slike data, eller aktive sensorer som laser og radar.

To naturlige variable å forsøke å overvåke er bladarealindeks (leaf area index, LAI) og pigmentkonsentrasjon (hovedsakelig klorofyll). Både redusert bladmasse ( redusert LAI) og redusert pigment-konsentrasjon i bladverket er generelle responser på de fleste typer stress og skader på vegetasjon, og de har sine paralleller i henholdsvis krontetthet og misfarging. Dersom en multipliserer bladarealindeks og klorofyllkonsentrasjon får en klorofyllmengde per arealenhet i skogens kronesjikt, og dette kan integrere effekten av alle typer stress til én variabel, som kan være velegnet for fjernmåling.

Det er hovedsakelig tre datakilder som egner seg for fjernmåling av skoghelse i Norge:

- MODIS og AVHRR, er satellittdata fra passive sensorer med lav romlig oppløsning (pixelstørrelse 250m x 250m – 1km x 1km). Data er tilgjengelig fra Internett og opptakene blir gjort rutinemessig over hele kloden uavhengig av bestilling. Dette er passive sensorer hvor skyer er et vesentlig problem, men sensorene har en høy opptaksfrekvens, noe som øker sjansen for gode data i områder med mye skyer. Lav romlig oppløsning kan være et problem.
- SPOT og LANDSAT er eksempler på satellitter med passive sensorer og middels høy romlig oppløsning (10mx10m – 30mx30m). NASA har nylig besluttet å videreføre LANDSAT-programmet i framtiden og suksessivt erstatte gamle satellitter, og det er planer om å få høy opptaksfrekvens om noen år.

- Radar (SAR) er aktive sensorer, og flere satellitter har i dag SAR, og det er mange alternativer for romlig oppløsning og opptaksfrekvens. Det gjenstår mye forsknings- og utviklingsarbeid for å benytte SAR-data til overvåking, men potensialet synes å være stort. Sensorene er uavhengige av sollys, de fungerer i overskyet vær, og både dag og natt.
- Flybårne data: både LIDAR (laserskanning) og sensorer for spektrale data har et stort potensial. Samplingsbaserte opplegg hvor, for eksempel, faste striper flys hvert år er da mest aktuelt, for å begrense kostnader og datamengder.

## 4.2 Populasjonsovervåking av insekter

Bjørn Økland, Erik Christiansen og Paal Krokene, Skog og landskap

*Det mangler per i dag overvåkingssystemer for en rekke viktige insekter som er eller kan bli viktige skadegjørere i norsk skog i fremtiden. Dette behovet har ytterligere blitt aktualisert fordi fremmede arter introduseres, og fordi klimaendringer kan endre artenes utbredelse og tendens til å gi utbrudd. Det anbefales derfor at overvåkingen av granbarkbiller opprettholdes og suppleres med registreringer av skadde trær. I tillegg bør det være en egen overvåking ved importhavnene hvor fremmede arter har størst sannsynlighet for å bli introdusert. Det bør også være en målrettet overvåking og vurdering av behovet for overvåking av andre potensielle skadegjørere.*

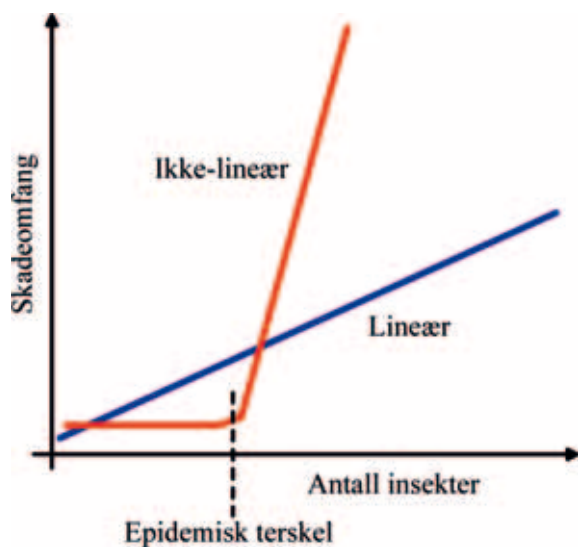
Flere forhold motiverer en overvåking av potensielle skadegjørere, slik som klimaendring og introduksjoner av fremmede arter. Siden overvåking er svært ressurskrevende, bør nye overvåkingssystemer være rettet mot de enkelte, mest aktuelle artene. Det vil være unødig kostbart og lite nyttig å gjennomføre en standardisert prøvetaking av alle aktuelle arter i alle landsdeler. Det er mer hensiktsmessig å utforme et artstilpasset, standardisert opplegg for den enkelte art. Selv om for eksempel den sydlige arten barskogsnonne kan bre seg nordover hvis klimaet blir gunstigere, er sannsynligheten for at den plutselig vil dukke opp i de nordlige landsdelene så liten at disse ikke bør inngå i et eventuelt overvåkingssystem for denne arten. Det vil også være fornuftig å ha en egen overvåking ved importhavnene hvor fremmede arter har størst sannsynlighet for å bli introdusert.

Det pågår allerede en overvåking av det insektet som er aller mest aktuelt i sammenheng med klimaskadde skog. På oppdrag fra Landbruks- og matdepartementet forestår Skog og landskap en årlig registrering av granbarkbillebestanden, i samarbeid med skogbruksetaten i 11 fylker. Billene fanges i feller med feromondispensere som lokkemiddel – slik det har vært gjort siden 1979. I dag har vi 25 år lange tidsserier fra rundt 100 lokaliteter i Sør-Norge og Midt-Norge. Oppdaterte resultater presenteres årlig i rapporter til Landbruks- og matdepartementet og fylkenes skogetater, og på Internett ([www.skogoglandskap.no/](http://www.skogoglandskap.no/)).

Resultatene fra barkbilleovervåkingen hjelper oss til å vurdere faren for nye barkbilleutbrudd. I tillegg er de en viktig kilde til en bedre forståelse av hva som får billepopulasjonene til å øke voldsomt og skape utbrudd. Slike studier er startet opp i de siste par årene ved Skog og landskap. Blant annet undersøkes det hvor synkronisert populasjonssvingningene er i ulike landsdeler og hva som styrer svingningene. Det anbefales at denne overvåkingen opprettholdes i uendret form for å oppnå mest mulig sammenlignbare data over tid. I tillegg til varslingsverdien, vil mulighetene til å studere årsakene til utbrudd bli bedre jo lengre tidsseriene blir. Det nåværende overvåkingssystemet innenfor granas utbredelsesområde er også et godt utgangspunkt for å overvåke populasjonsendringer hos granbarkbiller som følge av klimaendringer.

Når det gjelder nye skadegjørere står vi overfor flere viktige valg med hensyn til hva som skal overvåkes. Sentralt her er hvorvidt registreringen skal rettes mot skadene insektene gjør på skogen, eller direkte mot insektenes populasjonsstørrelse. Registrering av skader fra fly er mye brukt ved overvåking av viktige insektskadegjørere i Nord-Amerika. Slike registreringer gir gode data på en kostnadseffektiv måte, og er absolutt en metode som bør vurderes i norsk sammenheng. En begrensning med å bruke denne metoden alene er imidlertid at skadedata ikke gir et direkte mål på populasjonsstørrelsen, slik at vi ikke får et sikkert mål på artenes utbredelse. Således vil ikke skadedata alene kunne gi et forvarsel om økning eller nedgang i skadene eller endringer i utbredelsen. Den motsatte ytterligheten er å registrere bare populasjonsstørrelse. Da er det viktig å være bevisst på at skadenivået ikke uten videre kan avledes fra populasjonsstørrelsen, med mindre forholdet mellom skade og populasjonsstørrelse har vært undersøkt. Blant kjente skadegjørere er det flere eksempler på at det ikke er noe lineært forhold mellom populasjonsstørrelse og skade (Figur 16).

Dette gjelder for eksempel granbarkbillen: Billene kan ikke drepe levende skog med mindre populasjonen er høyere enn et visst nivå – en såkalt epidemisk terskel. En løsning på dette problemet er å gjennomføre parallelle registreringer av både skade og populasjonsstørrelse – slik det er gjort for granbarkbillen – for på denne måten å beskrive forholdet mellom populasjonsstørrelse og skadeomfang.



Figur 16. Skjematisk eksempel på hvordan det for to tenkte arter kan være lineær og ikke-lineær sammenheng mellom skogskade og populasjonsstørrelse.

Felleprøver av populasjonen bør generelt sørge for at prøvene blir tatt:

- Med rett metode
- I aktuelt område
- Til rett tid i sesongen
- Med en prøveinnsats som står i forhold til formålet (tallfesting, eller bare registrering av nærvær/fravær)

Feller og prøvetakingsmetoder er allerede kjent for de artene det vil være mest aktuelt å overvåke, og det finnes erfaringer fra overvåkingssystemer i andre land som kan være nyttige for planlegging av nye systemer i Norge (Figur 17). Feromoner kan benyttes som attraktanter i fellene, og en oversikt over hvilke feromoner som er kjent for de ulike artene er samlet i en database på Internett ([www.pherobase.com](http://www.pherobase.com)).

I forhold til de 3 hovedgruppene av skadegjørere (se kapittel 3.2) kan vi tenke oss følgende tilnærming:

1. *Arter som har hatt utbrudd i Norge tidligere:* Dette er arter som det er grunn til å følge med om populasjonene øker og om skogskader finner sted. Arter som er aktuelle i så måte er rød furubarveps, furuspinner, fjellbjørkmåler og flere barkbillearter, deriblant granbarkbillen. Prøvetaking i området hvor artene allerede finnes bør være så god at en kan tallfeste endringer i populasjonsstørrelsen.
2. *Arter med sørlig utbredelse i Norge, som har gjort skade i våre naboland, men ikke hos oss:* Også for disse er det grunn til å registrere om populasjonene øker og om skogskader finner sted, men i tillegg vil det være interessant å observere om utbredelsen endres over tid. Aktuelle arter i denne sammenheng er furumåler, barskognonne og vanlig furubarveps. Påvisning av populasjonsendringer krever som nevnt prøver som er så gode at de kan tallfestes, mens påvisning av ekspanderende utbredelsesområde ikke stiller like store krav til prøver og vil kunne begrenses til nærvær/fravær av de respektive artene.
3. *Skadegjørere som kan komme inn i Norge ved handel med skogsprodukter:* For disse artene er det naturlig å gjøre prøvetaking der hvor skogproduktene importeres. Skog og landskap har bygd opp erfaring på prøvetakingsmetoder i de siste årene. Fremmede barkbiller og sibirfuruspinner er aktuelle i så måte.



Figur 17. Eksempel på hvordan utbredelsen av lauvskognonnen (*Lymantria dispar*) i Nord-Amerika overvåkes ved hjelp av feromonfeller. Figuren til venstre viser utbredelseskart der fargekoden angir antall insektindivider per felle og viser fronten for økt utbredelse mot sørvest. Bildet til høyre viser feromonfelle for overvåking. Kilde: USDA APHIS PPQ Archives, [www.forestryimages.org](http://www.forestryimages.org).

#### Konklusjon:

- Det anbefales at feromonfelleovervåkingen av granbarkbillen opprettholdes i uendret form for å oppnå mest mulig sammenlignbare data over tid.
- Overvåkingen av granbarkbillen bør suppleres med registrering av skadde trær. Metodikken bør være den samme som i Sverige for å gi sammenlignbare resultater.
- Det bør være en egen overvåking ved importhavnene hvor fremmede arter har størst sannsynlighet for å bli introdusert.
- Det bør være en målrettet overvåking av andre arter som er potensielle skadegjørere. Hvilke arter som skal inkluderes må vurderes.

### 4.3 Populasjonsovervåking av sopp

Kåre Venn og Carl Gunnar Fossdal, Skog og landskap

*En systematisk overvåking av utvalgte sopparter kan gjøres ved å utvikle et system med fangst av sopp sporer i volumetriske luftprøvetakere og påfølgende identifikasjon og kvantifisering ved hjelp av DNA-baserte metoder. Dette kan være aktuelt for viktige skadesopper, som rotkjuke, knopp- og grein-tørkesoppen, granrustsoppen og gråskimmelsoppen.*

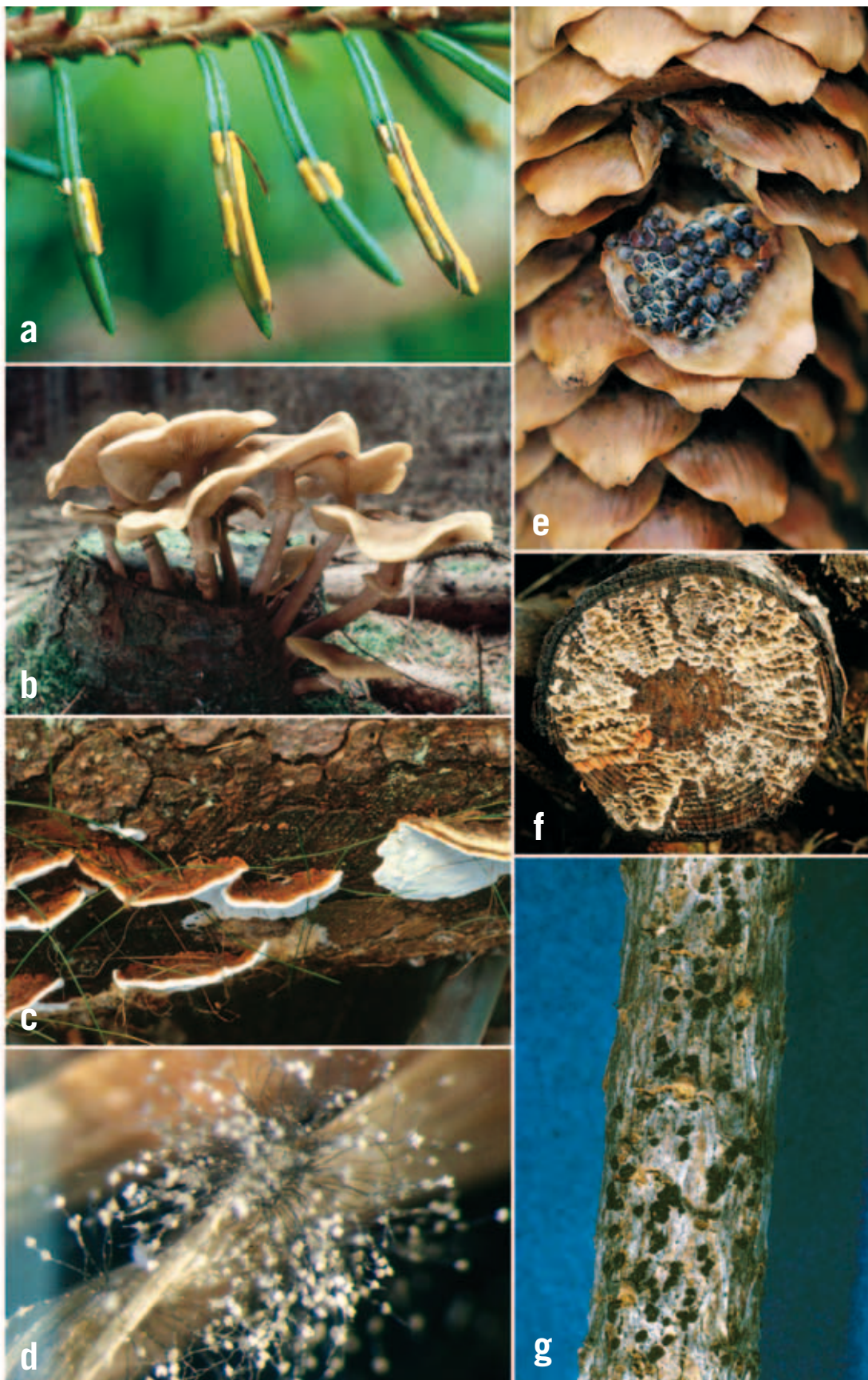
Sopper som skader skogstrær er til en viss grad bundet til stedet der de vokser. Mengden eller utbredelsen på stedet har betydning for hvilken evne de har til å spre seg og angripe nye trær. Jo mer infisert et skogområde er, jo større er faren for nye angrep, under ellers like forhold.

Soppenes formering skjer som regel ved hjelp av sporer. Sporedannelsen avhenger av soppens utviklingstrinn og skjer ofte i takt med døgntid og årstid, og den varierer med ytre påvirkninger, slik som ulike værforhold. Høyere temperaturer, lengre vekstsesong og fuktigere vær begunstiger sporedannelsen.

Sporenes levedyktighet avhenger av værforholdene, særlig luftfuktigheten, og avtar med tiden. De fleste sopp sporene kan spres gjennom luften. Fra et angrepssted med en sporekilde vil nye angrep oppstå i et vifteformet område nedover i den herskende vindretningen og avta med avstanden. Noen sporer kan spres via vann eller jord, og andre har mulighet til å følge med planter, dyr eller mennesker. Den viktigste spredningsveien mellom land og kontinenter er overføring i plantemateriale eller andre handelsvarer.

For vurdering av mulige tiltak vil det generelt sett være av stor verdi å ha kunnskap om hvilke sopparter som finnes i et område og hvilket smittepress de har. Her vil vi i hovedsak bare være interessert i de sykdomsfremkallende artene som potensielt kan gi skader på skog (Figur 18). For flere av disse finnes rådgjerder som kan settes inn for å hindre skade. Importforbud eller desinfeksjon er aktuelle tiltak mot de fremmede, farlige soppene.





Figur 18. Dannelse av vindsprede sporer hos noen viktige skogssykdommer: (a) granrustsoppen, sporehoper på nåler; (b) honning-sopp, hatter på stubbe; (c) rotkjuke, fruktlegemer på en rot; (d) gråskimmelsopp, sporebærere på død barnål; (e) lokkrustsoppen, sporehus på kongleskjell; (f) toppråtesoppen, fruktlegemer på stokkende; (g) knopp- og greintørkesoppen, fruktlegemer på furugrein. Foto: a, b, e Halvor Solheim; c, f, g Finn Roll-Hansen; d Isabella Børja.

Den tradisjonelle overvåkingen av tilstanden har vært basert på eksperters observasjoner og funn ved tilfeldige eller mindre systematiske prøvetakinger. En slik (kvalitativ) metode kan avklare om en bestemt sopp er tilstede eller ikke, men sjelden besvare spørsmålet om omfanget.

En mer representativ (kvantitativ) overvåking kan baseres på observerbare symptomer. Symptomene er ofte lite spesifikke, og observatøren må ha solide kunnskaper. I noen tilfeller fremkaller soppangrepet likevel nokså typiske symptomer (tyritopp, lerkrekraft, løvtrekraft, snøskytte, lokkrust, gulrust, bjørkerust), som kan registreres og gi et noenlunde sikkert uttrykk for graden av infeksjon i et område. Slik systematisk registrering av kjente symptomer er derfor et godt grunnlag for et operativt overvåkings-system. Det vil imidlertid dekke bare et begrenset antall skogsykdommer, samtidig som det er kunnskapskrevende og arbeidsintensivt.

Måltrettet prøvetaking for noen særlig utvalgte sopper, ved systematisk søk etter disse soppenes fruktlegemer og eksisterende sporedannelse, kan være en noe lettere vei å gå, men oversikt oppnås bare over en begrenset del av de tilstedeværende soppene. En ulempe er at fruktlegemer og sporulering ofte ikke dannes før angrepet har pågått i lengre tid. Dessuten ytrer soppene seg ofte ved mikroskopiske, små fruktlegemer, og bare et fåtall sopper som rotkjuke og flatkjuke (*Ganoderma*) kan gjenkjennes ut fra sporeformen alene.

Innsiktsfull, systematisk, representativ prøvetaking, med isolering og påfølgende identifisering av skadegjørere, er den sikreste veien å gå, men den er både kunnskaps- og arbeidskrevende. Prøvene kan tas fra luft, vann, jord eller plantemateriale. Ut fra dette kan soppene isoleres, dyrkes frem på utvalgte substrater og identifiseres i renkultur. Dersom prøvene tas systematisk, slik at de er representative for volum av luft, vann eller jord, eller areal, vil resultatene gi et visst objektivt mål på populasjonsstørrelsen.

Isolering og dyrking av sopper foretas på kunstige vekstmedia, som i mange tilfeller er gjort selektive for bestemte sopper og utelukker andre (vha. antibiotika, næringssemner, kjemikalier). For å fremkalle de spesifikke karakterene hos den enkelte sopp må som regel flere media benyttes for kultivering. Dette kan kreve mye tid og må skje under egnede laboratorieforhold.

Den endelige identifiseringen av soppene kan tradisjonelt skje ved undersøkelse av renkulturer med

fruktlegemer og sporedannelse, samt andre synlige karakterer, observert med det blotte øye eller under forstørrelse i mikroskop. Observerte karakterer sammenholdes med eksisterende beskrivelser. Slik tradisjonell identifisering kan være meget tidskrevende.

Ny teknologi åpner imidlertid mulighet for enklere og raskere overvåkingsmetoder. Utgangspunktet er fortsatt en systematisk og innsiktsfull prøvetaking. Den videre identifisering av skadegjøreren kan i dag baseres på DNA-bestemmelse og skjer ved laboriemessig separering av prøven og bruk av biokjemiske metoder. Sannsynligvis vil det i fremtiden bli utviklet spesielle sett for hurtig feltmessig bestemmelse av prøver. Metoden vil da ikke være avhengig av prøvetaking, isolering og dyrking, men gå direkte på DNA i sporer eller det soppvev (levende eller dødt) som måtte være tilstede i prøven. Flere tilstedeværende sopper vil kunne identifiseres fra samme prøve.

Fremtidige overvåkningsopplegg vil kunne basere seg på relativt enkle og få systematiske prøvetakinger, med rask identifisering gjennom DNA-analyse og sammenlikninger med kjente profiler tilgjengelig i databaser. Dette vil kunne gi tilstrekkelig informasjon om populasjonsstørrelser og mulig angrepsrisiko, som basis for vurdering om rådgjerder skal settes inn.

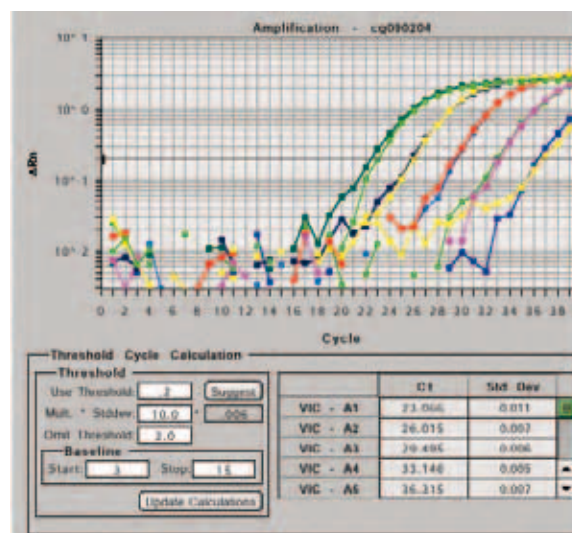
Patogene sopper innholder, som alle andre levende organismer, gener som er kodet inn i DNA-trådene i soppcellenes kromosomer. Vi kjenner i dag forskjeller i baserekkefølgen i utvalgte gener fra en rekke patogene sopp (hver art har sin egen unike baserekkefølge som skiller seg fra baserekkefølgen i det tilsvarende genet fra en annen art). Dette gjør det mulig å bestemme hvilke arter som er tilstede. Skog og landskap er i gang med å bygge opp en DNA-database for sopp, for å bli i stand til å kunne skille mellom de hundrevis av ulike sopparter som kan være tilstede i en prøve.

Ved skog og landskap har vi tatt i bruk en DNA-basert metode (kvantitativ sanntids PCR) for å nøyaktig identifisere og kvantifisere mengden av patogen sopp. Metoden har den fordel at den er uhyre sensitiv og kan brukes selv på svært uttynnede prøver, og DNA fra en patogen sopp kan finnes blant DNA fra et stort antall andre arter i samme prøve. Vi har så langt utviklet denne metoden for å påvise rotkjuke, knopp- og greintørkesoppen, *Sirococcus conigenus* på småplanter, lokkrustsoppen (*Thekopsora areolata*), samt noen råtesopper som hovedsakelig bryter ned død ved.

Bruken av et slikt DNA-basert verktøy betyr at man ikke bare kan finne ut hvilke patogene sopper som er tilstede i prøven, men også mengden, noe som er essensielt for å kunne forutsi graden av infeksjonsfare forbundet med hver enkel sopp (Figur 19). Sammenlignet med andre analysemetoder i forbindelse med overvåking av skogens helse forventer vi at et slikt DNA-baserte deteksjonsverktøy vil gi en uovertruffen sensitivitet og presisjon ved identifisering av patogene sopper som er tilstede i skogskade-sammenheng og integrert med andre analysemetoder i forbindelse med overvåking av skogens helse.

En mulig måte for å utnytte DNA-teknologien vi behersker i dag, er å sette opp volumetriske luftprøvetakere med etterfølgende ekstraksjon av DNA for deteksjon og kvantifisering av forekommende sopp-sporeer ved hjelp av kvantitativ sanntids PCR. Identifisering ved bruk av andre innsamlingsmetoder kan også tenkes. Dette vil muliggjøre en systematisk DNA-basert overvåking og fungere som et nytt alternativ til metoder som allerede er i bruk, og vil kunne fungere som en parallell til den nåværende bruk av feromonfeller for å kvantifisere forekomst av insekter. For å utvikle denne overvåkingsteknikken må DNA-ekstraksjonsmetoder og kvantitative PCR-analyser tilpasses bruken av volumetriske luftprøvetakere. Det er fullt mulig å utvikle dette verktøyet, men det vil kreve investering i forskning og metodeutvikling for å få det på plass.

Liknende metoder er under utvikling for overvåking av biologisk mangfold, hvor fragmenter av planter eller dyr samles i feller og deretter identifiseres og kvantifiseres ved hjelp av DNA-analyse. En fremtidsvisjon er samordnede opplegg for overvåking av sopp sykdommer, biologisk mangfold, pollenforekomst og fenologiske ytringer. Det er fullt mulig å utvikle også dette verktøyet, men også det vil kreve investering i forskning og metodeutvikling for å få på plass.



Figur 19. Kvantifisering av DNA ved hjelp av kvantitativ sanntids PCR fra prøver som inneholder 10, 1, 0,1, 0,01 and 0,001 nanogram DNA fra målorganismen. Husk at 1 nanogram er det samme som 0.000000001g! Dette betyr at det er mulig å finne ut om en enkelt sopp spore er tilstede i prøven. Lave verdier på X-aksen indikerer mer sopp i prøven.

#### 4.4 Registreringer av skogskader på permanente felt

Svein Solberg, Skog og landskap

*I Norge har vi hatt overvåking av skogens helsetilstand på permanente felt i over 20 år. En del av disse registreringene kan være av verdi også for en overvåking av skogskader relatert til klimaendringer, og en videreføring har fordelen av at lange tidsreier sikres og videreføres. Forbedringer og kostnadsreduskjoner sammenliknet med dagens overvåking kan oppnås ved at noen registreringer erstattes av nye metoder som fjernmåling og automatiserte målinger, og noen registreringer kan slås sammen med andre aktiviteter.*

I Europa, Nord-Amerika og deler av Øst-Asia har det pågått overvåking av skoghelse i omkring 20 år. Målingene er basert på visuelle registreringer av generelle skoghelseindikatorer som kronetetthet, kronefarge, avdøying, sekundærskudd og konglesetting. I Norge foregår disse registreringene på regionale overvåkingsflater (tidligere skogoppsynets flater), på landsskogtakseringens flater, i tillegg til mer hyppige registreringer av klimaforhold, bunnvegetasjon, trærnes tilvekst, strøfall og næringsinnhold samt jord- og nedbørkjemiske forhold på intensive overvåkingsflater.

Visuelle observasjoner er beheftet med usikkerhet. Selv om flere undersøkelser har vist at registreringene gir meningsfulle datasett med sammenfal-

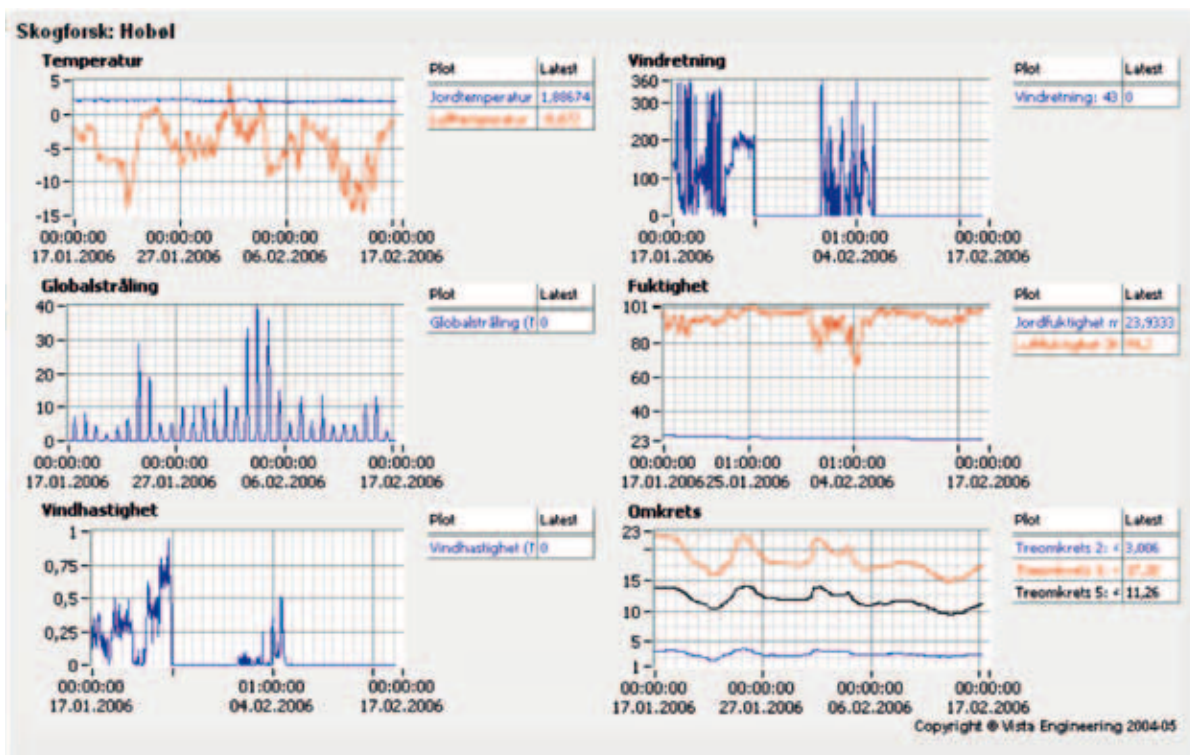
lende geografiske mønstre, og det er påvist sammenhenger mellom kronetetthet og tilvekst, kan systematiske forskjeller mellom observatører gi falske geografiske mønstre, brå og falske forskjeller mellom land, og brå endringer ved skifte av observatør. På øvelseskurs i kronebedømmelse varierer kronetetthetsverdiene mellom observatørene, men rangeringen av trærne med hensyn på kronetetthet er ofte lik. Kronebedømmelse er derfor en god metode i situasjoner med omfattende skogdød og sterke variasjoner i skogskader i tid og rom. I Europa sett under ett har det imidlertid vist seg at variasjonen i kronetetthet er beskjeden, selv etter ekstremt tørre og varme somre som den i 2003. Dette er med på å gjøre at usikkerheten i metoden blir stor i forhold til den virkelige variasjonen i kronetetthet.

Overvåkingsmetodene ble utformet ut fra ønsket om å studere effektene av luftforurensning, for å kunne beskrive hvordan skogens helsetilstand varierer i tid og rom, samt for å belyse skadeårsaker. Generelle helsevariabler som kronetetthet og kronefarge har vært brukt som mål på skogens helsetilstand. I prinsippet fanger de opp effekter av de fleste typer skogskader som insekt-defoliatorer, soppsykdommer på bladverket, framskredne råteangrep og tørkestress. På samme måte som med sur nedbør, kan også klimaendringer – både direkte og indirekte – føre til en rekke ulike skader på skog som kan overvåkes ved bruk av generelle helsevariable. Det er derfor god grunn til å fortsette med klimaeffekter som ytterligere en problemstilling.

De andre variablene i overvåkingen, utover kronevariablene, er også i stor grad relevante for klimaendringseffekter. Det gjelder for trærns tilvekst. Trærnes næringsstatus i nåler og blad bidrar også til en generell beskrivelse av trærnes helsetilstand, men er likevel mindre relevant for klimaeffekter enn den var for sur nedbør. Kjemiske egenskaper i nedbør, kronedrypp og jordvann har noe mindre relevans enn det hadde for sur nedbør. Det inneholder imidlertid informasjon om to relevante forhold for klimaspørsmål, nemlig sjøsaltepisoder og karbonets kretsløp. Sjøsaltepisoder forekommer ofte i Norge, og gir akutte endringer i skogøkosystemet. Det driver kationer ut i jordvannsløsningen, inkludert aluminium, og kan dermed utløse høye aluminiumskonsentrasjoner og mulig toksiske konsentrasjoner for røttene. Karbonbinding er mye fokusert i dag på grunn av Kyoto-protokollen, og kjemiske analyser av karbon (DOC) i vannprøver kan bidra til forståelsen av karbonets kretsløp i skogøkosystemet. Data for strøfallet er relevant for å forstå dyna-

mikken i kronetetthet, og høyt strøfall på gran er ofte en effekt av tørkestress. Strøfallet har også betydning som beskrivelse av karbonets kretsløp. Generelt synes det som nytteverdien av en intensiv, skogøkologisk overvåking er bredere enn det som har vært bakgrunnen hittil (forurensninger), og for klimaendringseffekter. Derfor bør slike felt finansieres ut fra et bredere fokus. Til sammen taler dette for at en del av dagens overvåkingsaktiviteter er av stor verdi for overvåking av klimaendringseffekter.

I Europa har mange overvåkingsflater de siste årene blitt opprustet med automatiske registreringer av ulike klimavariabler som innstråling, jord- og lufttemperatur, nedbørmengde, luftfuktighet, vindstyrke og vindretning. I tillegg måles det kontinuerlig omkrets i brysthøyde og vanntransport oppover i stammen på enkelttrær. Omkretsbånd rundt stammen kan dessuten brukes for å registrere frostepisoder, og det finnes sensorer til å feste på trærne for å måle svingninger under sterk vind. Andre aktuelle variable er lysmålinger over og under kronetaket for å beskrive variasjon over tid i bladmasse, noe som er relevant for både skogens fysiologi og helsetilstand. Dataene kan lagres fortløpende i datalogger, og overføres med GSM til databaseserver, og presenteres fortløpende på Internett. Skogskadeovervåkingen i Norge har foreløpig ingen slike automatiske overvåkingsfelt, men metodene har vært til uttesting (Figur 20). Automatiserte overvåkingsprogrammer vil imidlertid ikke kunne erstatte manuelt arbeid, for eksempel når det gjelder prøvetaking til kjemiske analyser.



Figur 20. Eksempel på bruk av automatisk overvåking av skoghelse. Figuren viser en internettside med målinger av ulike klimavariabler, samt stammeomkrets i brysthøyde på noen trær fra et testfelt i Hobøl, Østfold. Dataperiode er 17. januar – 17. februar 2006.

#### 4.5 Systematisering av observerte skogskader

Svein Solberg, Skog og landskap

*Nettportalen Skogskader på Internett representerer moderniseringen av et rapporteringssystem som har vært operativt i Norge i over 100 år. Gjennom økt innrapportering, for eksempel med hjelp av den regionale, offentlige skogforvaltningen, samt en videre samordning med de andre nordiske landene, vil Norge få et operativt beredskapssystem for overvåking av skadetilfeller i norsk skog.*

I Norge finnes sammenstillinger av skogskaderegistreringer tilbake til begynnelsen av 1900-tallet. Det er vanligvis den regionale, offentlige skogforvaltningen (tidligere skogoppsynet) som registrerer og rapporterer skadene som så blir arkivert hos Skog og landskap. Via nettportalen *Skogskader på Internett* ([www.skogoglandskap.no/skogskade/](http://www.skogoglandskap.no/skogskade/)) kan brukerne rapportere og få oversikt over ulike skogskader, en ordning som sammen med diagnostisering av innsendte prøver viderefører en aktivitet som har pågått i over hundre år. En harmonisering med det svenske systemet for registrering av skogskader har dannet grunnlaget for et felles nordisk system.

Bare unntaksvis kan det avledes informasjon om geografiske mønstre for skogskader fra innsendte rapporter. Det beste eksemplet er fra angrepene av furuas knopp- og greintørkesopp i 2001, et angrep som rammet store deler av de sørlige landsdelene. Et relativt klart geografisk mønster framkom på *Skogskader på Internett* (Figur 21), noe som viser betydningen av at mengden innsendte rapporter er stor. Dette kan gjøres ved å øke den regionale, offentlige skogforvaltningens aktivitet her. Dette personellet ferdes mye i skog og mark og har betydelig kompetanse når det gjelder skogskader. Systemet kan også utvides med en rutine for årlig innrapportering, slik det ble gjort fram til midten av 1990-tallet, da Skogoppsynet rapporterte til Landbruks- og matdepartementet. Slike systematiske registreringer av skogskader bør særlig omfatte omfanget av barkbilledrept skog og stormskader.



Fig. 21. Eksempel på rapportering av skogskader til nettportalen *Skogskader på Internett* ([www.skogoglandskap.no/skogskader/](http://www.skogoglandskap.no/skogskader/)). Kartet viser oversikt over rapporter av furuas knopp- og greintørkesopp i 2001.

## 5 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

Svein Solberg, Skog og landskap

*Samfunnets behov for overvåking og dokumentasjon av skogskader har vært dekket gjennom registrering og dokumentasjon av skogskader i over 100 år. Overvåking av skogens helsetilstand er viktig og fyller en rekke behov i samfunnet: som dokumentasjon for ettertiden, som forvaltningsstøtte i forbindelse med nasjonale og internasjonale avtaler, til hjelp i forbindelse med akutt skadebegrensning og skadeutbetaling etter skogskader, i forbindelse med nye skogskjøtselstiltak, og ikke minst for å dekke informasjonsbehovet etter skogskadeepisoder. I forbindelse med de forespeilte klimaendringene er det hovedsakelig seks typer skogskader som vil kunne øke i omfang og som har potensial til å gi katastrofepregede skader. Det er sommertørke på gran i Sørøst-Norge, vinter- og vårfrostskader generelt i innlandet, stormfelling, furuas knopp- og greintørkesopp, granbarkbillen, og defolierende insekter som nonne. Ut fra de gitte klimascenariene og de sannsynlige effektene disse vil ha på norsk skog i årene framover, har vi skissert et kostnadseffektivt og rasjonelt opplegg for skogskadeovervåking både når det gjelder permanente felt, skaderegistrering, populasjonsovervåking og fjernmåling.*

Samfunnet har et behov for å overvåke og dokumentere skogskader, noe som har vært dekket gjennom registrering og dokumentasjon av skogskader i over 100 år, og gjennom finansiering av store overvåkingsprogram som *Overvåkingsprogrammet for skogskader* og overvåkingen av spesifikke skadetyper som barkbiller og almesyke, og ikke minst gjennom skoglovens bestemmelser om insektangrep. I tillegg kommer det som tidligere var årlige rapporter av skogskader fra skogbruksetaten på kommunalt nivå, rapporter som blant annet inneholdt opplysninger om skader i plantefelt og omfanget av barkbilleskader. Private skogeierorganisasjoner og forsikringsselskaper har også drevet kartlegging av skogskader.

Overvåking av skogens helsetilstand dekker følgende behov:

*Dokumentasjon for ettertiden:* Generell dokumentasjon om skogens helsetilstand er av stor verdi som referanse for ettertiden og ikke minst i forbindelse med modellering av årsaks-virkningsforhold knyttet til miljøproblemer. Det europeiske skoginstituttet (EFI) for eksempel, har utviklet en nettbasert database for akutte skogskader i Europa, basert på dokumenter fra helt tilbake på 1400-tallet.

*Støtte til den offentlige skogforvaltning:* Skogskadeovervåking og annen miljøovervåking legger grunnlag for nasjonale og internasjonale politiske beslutningsprosesser knyttet til miljøproblemer.

Overvåkingsdata har vært benyttet som data- og beregningsgrunnlag for internasjonale avtaler om utslippsreduksjoner. I Norge inngår Skogskadeovervåkingen i FNs langtransportprogram, et program som fokuserer på spredning og effekt av langtransportert luftforurensning i Europa, og på reduksjoner av disse utslippene. I denne sammenheng har skogovervåkingsdata dannet deler av grunnlaget for politiske vedtak om utslippsreduksjoner – de såkalte utslippsprotokollene – som deltakerlandene så har underskrevet og forpliktet seg til å følge opp. Dokumenterte effekter av klimaendringer på skogens helsetilstand kan på denne måten danne deler av grunnlaget for utslippsreduksjoner av drivhusgasser i forbindelse med Kyoto-protokollen.

*Akutt skadebegrensning:* I Norge er det flere episoder med skogskader som har krevd kartlegging og til dels intensiv overvåking. Noen eksempler på dette er stormskadene etter orkanen i Midt-Norge i 1992, skogbranner, angrepene av furuspinner i perioden 1902–1904, barkbillekatastrofen på 1970-tallet, diverse angrep av rød furubarveps, almesykens spredning – særlig på 1990-tallet – og skadene forårsaket av furuas knopp- og greintørkesopp i 2001. Skogskadeovervåking kan i slike sammenhenger være et viktig bidrag for vurdering av akutte tiltak og for å begrense utviklingen av en skogskade – for eksempel i forbindelse med opprydding og utbetaling av skogskadeerstatning. I tillegg kan populasjonsovervåking av utvalgte insekt- og sopparter være en nødvendig og samfunnsnyttig beredskap for å i tide kunne varsle om angrep som er under utvikling, og for å kunne gi informasjon om geografisk utbredelse av angrepene.

*Skogbehandlingen:* Overvåking av skogskader og kartlegging av skadeomfanget gir data som kan brukes i forskning omkring skadeårsaker, og effekten av ulike skogbehandlingsmetoder.

*Informasjon/media:* Media og klimaendringer går hånd i hånd: ekstremvær gir ekstrem mediainteresse. Dette er tema med stor samfunnsinteresse, og forskningen har en plikt til å informere befolkningen om hva som er dokumenterte fakta i forbindelse med større skogskadehendelser. De

siste årene har bjørkerustsoppen forårsaket sterke skader på bjørkeskog i fjellet og i nordlige områder av landet, det har vært flere år med målerangrep i Finnmark, og flere år med sterke angrep av rød furubarveps. Dette er skader som opptar allmennheten fordi de er iøynefallende og fordi de ofte observeres i sommerferien. I slike sammenhenger kan oversiktskart fra nettportalen *Skogskader på Internett* som viser utbredelse og eventuelt skadeutvikling over tid være av interesse – både for allmennheten, for nasjonale og lokale medier, og for forvaltningen.

Klimaendringer, med økte CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner i atmosfæren og høyere temperatur i vekstsesongen, vil tilsynelatende gi økt tilvekst i norske skoger. Samtidig kan de samme endringene føre til en økning i omfanget av skogskader – både direkte og indirekte. Høyere sommertemperaturer kan gi mer sommertørke, høyere vintertemperaturer kan føre til en økning i klimatiske vinterskader og vårfrostskader, og mer vind og hyppigere stormepisoder kan gi mer stormfelling. Siden et varmere og fuktigere klima øker aktiviteten til mange insekt- og sopparter, kan disse klimaendringene indirekte føre til en økning i omfanget av skadegjørere. I tillegg kan det totale skadeomfanget øke siden klimaskadet skog vil ha redusert motstandskraft og dermed være mer utsatt for skadegjørere insekter og sopp, og det samme vil kunne skje som en følge av mer stormskader.

I forbindelse med de forespeilte klimaendringene er det hovedsakelig seks typer skogskader som vil kunne øke i omfang og som har potensial til å gi katastrofepregede skader. Det er:

- sommertørke på gran i Sørøst-Norge
- vinter- og vårfrostskader generelt i innlandet
- stormfelling
- granbarkbillen
- defolierende insekter, først og fremst nonne
- furuas knopp- og greintørkesopp (som vanligvis følger vinterskader på furu) og granrustsopp
- råtesopper, særlig honningsopp og rotkjuke

Så selv om det tilsynelatende kan se ut som klimaendringer vil gi utelukkende positive effekter på norsk skog, er det en rekke forhold som tilsier at klimaendringene vil kunne føre med seg en rekke nye potensielle skader og skadegjørere insekter og sopper, og at det ikke minst i interaksjonen mellom disse effektene vil kunne oppstå nye problemområder, og at det i betraktning av disse vurderingene vil være av stor betydning å innføre langsiktige overvåkingsprogram samt et beredskapsopplegg for akutte skadeproblemer. På denne måten vil vi være i stand til å redde og hindre potensielt store skader i norsk skog.

Ut fra de gitte klimascenariene og de sannsynlige effektene disse vil ha på norske skoger i årene framover – slik vi har beskrevet det i de foregående kapitlene – har vi skissert et kostnadseffektivt og rasjonelt opplegg for skogskadeovervåking (Tabell 1)

Tabell 1. Oversikt over dagens skogskadeovervåking med forslag til mulige endringer og presentasjon av et framtidig opplegg for nasjonal skogskadeovervåking.

| Kategori                 | I dag   | Endring   | Framtidig opplegg  |
|--------------------------|---|---|--|
| 1. Permanente felt       | Landsrepresentativ overvåking (ICP-Forests level I)                         | Samordnes med Landsskogtakseringen  | Samordnet opplegg for ressurskartlegging og skoghelse                      |
|                          | Regionale overvåkingsflater   | Reduseres og vurderes   | Videreføres som tilvekstflater med 5-årig omdrev                           |
|                          | Skogøkologiske overvåkingsflater (ICP-Forests level II)                     | Sikre en bredere finansiering som langsiktig feltovervåking og utvide med automatisert overvåking           | Langsiktige skogøkologiske felt som datakilde for mange formål             |
| 2. Skaderegistrering     | Systematisering av observerte skogskader ( <i>Skogskader på Internett</i> ) | Videreutvikles med økt innrapportering fra lokale skogbruksfunksjonærer, inkludert årlige standardrapporter | <i>Skogskader på Internett</i> med bedre datagrunnlag og representativitet |
| 3. Populasjonsovervåking | Granbarkbillefeller   | Noen flere insekt- og sopparter får tilsvarende opplegg   | Populasjonsovervåking av utvalgte insekt- og sopparter                     |
| 4. Fjernmåling           | ---   | Ny: Utvikling og valg av metode for fjernmåling av skoghelse  | Landsdekkende fjernmåling av generell skoghelse                            |



### 1. Permanente felt

Lange tidsserier med data fra intensiv skogøkologisk overvåking er av stor betydning for skogforskningen, og de norske skogovervåkingsprogrammene er blant dem med lengst tidsserie i Europa. En samordning mellom Landsskogtakseringen og den landsrepresentative skoghelseovervåkingen representerer et rasjonelt opplegg som vil gi god ressursutnyttelse både når det gjelder logistikk og datainnsamling. Men også den regionale skogforvaltningen og deres overvåkingsflater er av stor betydning i overvåkingsammenheng siden dette datasettet er unikt både i størrelse og lange tidsserie.

### 2. Skaderegistrering

Den regionale, offentlige skogforvaltningen kan benyttes til rapportering av skogskader og ikke bare til kronebedømmelse på permanente felt. Dette kan gjennomføres ved tilleggsrapportering når det dukker opp skader og ved rutinerapportering hvert år, slik skogoppsynet tidligere sendte inn til Landbruks- og matdepartementet. *Skogskader på Internett* kan utvikles til å ta i mot begge typer rapporter.

### 3. Populasjonsovervåking

Fangstbasert populasjonsovervåking av insekter og sopp kan samordnes med behovet for registreringer av biologisk mangfold, noe som vil bidra til at flere prosjekter innen skogøkologi kan dra nytte av dataene.

### 4. Fjernmåling

Det er alltid en avveining mellom det å videreføre tidligere tidsserier og det å starte nye. Selv om det finnes mange grunner til å fortsette den overvåkingsaktiviteten som har vært drevet de siste tiårene, har ny teknologi – særlig innen fjernmåling – skapt muligheter for nye metoder som sannsyn-

ligvis hadde blitt valgt dersom ny overvåking skulle vært satt i gang i dag. Utgiftene til satellittdata utgjør dessuten bare en liten del av kostnadene forbundet med tradisjonell skogskadeovervåking. Hvis det skulle bygges opp et overvåkingsprogram uten å skjele til de aktiviteter som har foregått hittil, ville det være naturlig å erstatte kronebedømmelse med fjernmålingsdata. På den måten dekkes hele og ikke bare deler av skogarealet og dataene blir registrert på en objektiv og ensartet måte både i tid og rom. Registreringer på faste felt kan gi et godt grunnlag for landsvise gjennomsnittstall, men målingene er dårlig egnet til kartlegging av den geografiske utbredelse av skogskadene. Fjernmåling på nasjonal skala har mange anvendelser – både når det gjelder overvåking av andre naturtyper enn skog og når det gjelder andre forhold i skogbehandlingen, slik som planlegging, overvåking og oppdatering av skogbruksplaner. Det vil også kunne gi data og modeller som er relevante for beregning av strålingsbalanse, fotosynteseaktivitet, biomasse, vegetasjonssoner, skoggrenser, fenologi, og ikke minst når det gjelder karbonbinding i jord og vegetasjon – noe som er nødvendig i nasjonale forpliktelser i forbindelse med oppfølgingen av Kyotoavtalen.

Dette forslaget til skogovervåkingsprogram har en rekke fordeler. Det dekker mange av behovene samfunnet har for skogskadeovervåking, det gir data som er sammenlignbare i tid og rom, det gir mange samordningsgevinster, og ikke minst sikrer den utstrakte bruken av fjernmåling en god ressursutnyttelse fordi den i større grad baserer seg på automatisert datainnsamling.



## 6 LITTERATUR

### Kapittel 2 Klimascenarier

- Benestad, R.E. 2001. Nye klimascenarier for Norge basert på flere klimascenarier. Cicerone 3: 21–24.
- Benestad, R.E. 2002. Empirically downscaled multi-model ensemble temperature and precipitation scenarios for Norway. *Journal of Climate* 15 (21): 3008–3027.
- FNs klimapanel (IPCC) 2001. Summary for Policymakers, i *Climate Change 2001. The scientific Basis* Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Førland, E.J. & T.E. Nordeng 1999. Framtidig klimautvikling i Norge. Cicerone 6: 21–24.
- Førland, E.J. & I. Hanssen-Bauer 2001. Klimautvikling i Norge frem til år 2050. *Naturen* 125 (5): 211–218.
- Førland, E.J. et al. 2000. Past and future variations in climate and runoff in Norway. *Klima Rapport 19 Meteorologisk Institutt*, Oslo.
- Hanssen-Bauer, I. et al. 2001. Temperaturscenarier for vinter-Norge. Resultater fra empirisk nedskalering. Cicerone 1.
- Hanssen-Bauer, I. et al. 2003. Temperature and precipitation scenarios for Norway – Comparison of results from dynamical and empirical downscaling. *Climate Research* 25: 15–27.
- Hanssen-Bauer, I. et al. 2001. Et nedbørscenarier for vinter-Norge: Resultater fra empirisk nedskalering. Cicerone 6.
- Haugen, J.E. & D. Bjørge 1999. Framtidsscenarier for det norske klimaet. Cicerone 2: 25–26.
- Haugen, J.E. & T.E. Nordeng 2001. Endret vindmønster i et framtidig norsk klima? Cicerone 2: 28–31.
- Haugen, J.E. 2002. Mer ekstremt vær i våre områder. Cicerone 6: 18–20.
- Haugen J.E. & J. Debenard 2002. Et klimascenarium for Norge om 50 år for transportsektoren. *Research Note 64, Meteorologisk Institutt*, Oslo.
- Iversen, T. et al. 2003. Kombinasjon av to scenarier for 2030–2050. Ekstremene nedjusteres. Cicerone 5: 20–24.
- Skaugen, T.E. & O.E. Tveito 2001. Endring i fyringsperiode og vekstsesong som følge av økt temperatur. Cicerone 6.

### Kapittel 3 Effekter av klimaendringer på skogens helsetilstand

- Broadmeadow, M. 2000. Climate change – implications for forestry in Britain. *Forestry Commission. Bulletin 125. Information Note 31* : 1–189.
- Danish ministry of the environment 2005. Denmark's Fourth National Communication on Climate Change. 406 s.
- IPCC 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- #### Kapittel 3.1 Abiotiske skader
- Schelhaas M.J. et al. 2002. Adding natural disturbances to a large-scale forest scenario model and a case study for Switzerland. *Forest Ecology and Management* 167: 13–26.
- Schelhaas M.J. et al. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9 (11): 1620–1633.

- Solberg, S. et al. 1994. Tilfeller av skogskader i Norge i 1992 og 1993. *Rapp. Skogforsk* 24: 1–35.

#### Kapittel 3.1.1 Frost

- Forland E.J. et al. 2004. Variations in thermal growing, heating, and freezing indices in the Nordic Arctic, 1900–2050. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 36 (3): 347–356.
- Jonsson A.M. et al. 2004. Climate change and the effect of temperature backlashes causing frost damage in *Picea abies*. *Global and Planetary Change* 44 (1–4): 195–207.
- Menzel A. 2003. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climatic Change* 57 (3): 243–263.
- Murray M.B. et al. 1994. Effects of elevated CO<sub>2</sub>, nutrition and climatic warming on bud phenology in Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and their impact on the risk of frost damage. *Tree Physiology* 14 (7–9): 691–706.
- Myneni R.B. et al. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386 (6626): 698–702.
- Saxe H et al. 1998. Tree and forest functioning in an enriched CO<sub>2</sub> atmosphere. *New Phytologist* 139 (3): 395–436.
- Schaberg, P.G. & D.H. DeHayes 2000. Physiological and environmental causes of freezing injury in Red spruce. s. 181–228. I: Mickler R.A. et al. Responses of northern U.S. forests to environmental change. *Ecological Studies* 139. Springer, New York. 578 s.
- Skaugen TE & O.E. Tveito 2004. Growing-season and degree-day scenario in Norway for 2021–2050. *Climate Research* 26 (3): 221–232.

#### Kapittel 3.1.2 Tørke

- Barber V.A. et al. 2000. Reduced growth of Alaskan white spruce in the twentieth century from temperature-induced drought stress. *Nature* 405 (6787): 668–673.5.

#### 3.1.3 Storm og snø

- Dorland C. et al. 1999. Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change – A model approach based on storm damage in the Netherlands. *Climatic Change* 43 (3): 513–535.
- Jørgensen & Nielsen 2001. Træarters stormfasthed. Etablering av stabil skov etter stormfald. *Skoven Februar*: 14–18.
- Jørgensen, B.B. & S. Uldal 2001. Hvor stabile er blandinger av rødgran og løv? *Skoven. Februar*: 19–23.
- Nielsen, C.N. & J.B. Larsen 2001. Stormstabilitet og nært skovdrift – med fokus på bevoksninger med en høy nåletræsandel. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift* 4: 264–284.
- Nielsen, C.N. 2001. Vejledning i styrkelse af stormfasthed og sundhed i nåletræbevoksninger. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift* 4: 216–263.
- Quine, C.P. & J.A. Wright 1993. The effects of revised windiness scores on the calculation and distribution of windthrow hazard classes. *Forestry Commission. Research Information Note 231*. 4s.
- Quine, C.P. & I.M.S. White 1993. Revised windiness scores for the windthrow hazard classification : the revised

scoring method. Forestry Commission. Research Information Note 230. 5s.

Savill, P. et al. 1997. Plantation silviculture in Europe. Oxford University Press. 297 s.

### **Kapittel 3.2.1 Insektskader**

Annala, E. et al. 1999. Susceptibility of defoliated Scots pine to spontaneous and induced attack by *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor*. *Silva Fennica* 33 (2): 93–106.

Logan, J.A. and J.A. Powell 2001. Ghost forests, global warming, and the mountain pine beetle. *American Entomologist*. 47: 160–173.

Parmesan, C. et al. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579–583.

### **Kapittel 4 Overvåkingsmetoder**

UN-FAO 2006. Global forest resources assessments 2005. FAO Forestry Paper 147.

### **Kapittel 4.1 Fjernmåling**

Czaplewski R.L. 1999. Multistage remote sensing – Toward an annual national inventory. *Journal of Forestry* 97 (12): 44–48.

Ranson K.J. et al. 2003. Disturbance recognition in the boreal forest using radar and Landsat-7. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29 (2): 271–285.

Solberg, S. et al. 2006a. Mapping defoliation during a severe insect attack on Scots pine using airborne laser scanning. *Remote Sensing of Environment*. 102: 364–376.

Solberg, S. et al. 2006b. Single tree segmentation using airborne laser scanner data in a heterogeneous spruce forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 72: 1369–1378.

### **Kapittel 4.2 Populasjonsovervåking av insekter**

Økland, B. & O.N. Bjørnstad 2003. Synchrony and geographical variation of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) during a non-epidemic period. *Population Ecology* 45: 213–219.

Økland, B. & A.A. Berryman 2004. Resource dynamics plays a key role in regional fluctuations of the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Agricultural and Forest Entomology* 6: 141–146.

Økland, B. et al. 2005. Are bark beetle outbreaks less synchronous than forest Lepidoptera outbreaks? *Oecologia* 146: 365–372.

Økland, B. & O.N. Bjørnstad 2006. A resource depletion model of forest insect outbreaks. *Ecology* 87(2): 283–290.

## Forfatterinstruks for Viten fra Skog og landskap

- Manus skrives i Word 12 punkt skrift med 1 ½ linjeavstand, ren tekst; uten bruk av stiltyper i word.
  - » Forord
  - » Sammendrag
  - » Innledning
  - » Materiale og metode
  - » Resultat
  - » Konklusjon/diskusjon
  - » Litteratur
- Titler skal identifiseres ved hjelp av nummerering; 1., 1.1., 1.2., 2., 2.1., osv.
- Avsnitt markeres med dobbel linjeavstand.
- Latinske navn skal skrives i kursiv.
- Som desimalskille i tall skal det brukes komma på norsk og punktum på engelsk.
- Alle tabeller og talloppsett som skrives i Word, skal være med tabellfunksjonen (ikke bruk tabulator), og plasseres i teksten der det skal stå.
- Alle tabeller, figurer og bilder som er laget i andre programmer enn Word, skal vedlegges i sitt originale filformat. Velg gode størrelser i fontene så figurene beholder sin lesbarhet når de skaleres/nedfotograferes.
- Merk i manuset hvor tabeller/bilder/figurer i annet format enn Word skal inn. Skriv også inn tabell/bilde/figuratekst her.
- Strektykkelsen i figurer og grafer må ikke være mindre enn 0,11 mm, det vil si ¼ punkt.
- Tenk lesbarhet i grafer. Farger ser fint ut på skjermen, men er vanskelig lesbart i svart/hvit gjengivelse.
- Redaktøren tar standpunkt til om manuskriptet er kvalifisert for utgivelse i serien.

# Viten fra Skog og landskap

"Viten fra Skog og landskap" er sammenstilt og bearbeidet informasjon, innsikt og kunnskap om skogen og landskapet i Norge. Serien er åpen for relevante manuskripter, også fra forfattere som ikke er ansatt ved Norsk institutt for skog og landskap.

**Utgiver:**

Norsk institutt for skog og landskap

**Redaksjon**

Camilla Baumann og Anita Solberg

**Dato:**

Mai 2007

**Trykk:**

PDC-Tangen

**Opplag:**

700

**Bestilling:**

Norsk institutt for skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås

Telefon: 64 94 80 00

Telefaks: 64 94 80 01

[www.skogoglandskap.no](http://www.skogoglandskap.no)

ISBN 978-82-311-0021-8

ISSN 1890-159X

**Omslagsfoto:**

Klimatisk vinterskade på gran, Østfold, 1993. Skaden er sannsynligvis forårsaket enten av frost eller tørke. Liknende skader er kjent fra Danmark og Storbritannia.

Foto: Svein Solberg