

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 paradoksalnok 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 svikskafer på gran i kyststrøkene i Sørøst-Norge.

For å forstå hvordan klimaendringer kan påvirke omfanget av frost- og vinterskafer 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 trær 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, Tsjekia 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 km² 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 km² 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-tinsekvenser. 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 frysetinsekvenser 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 m³ 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 udramatisk, 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.

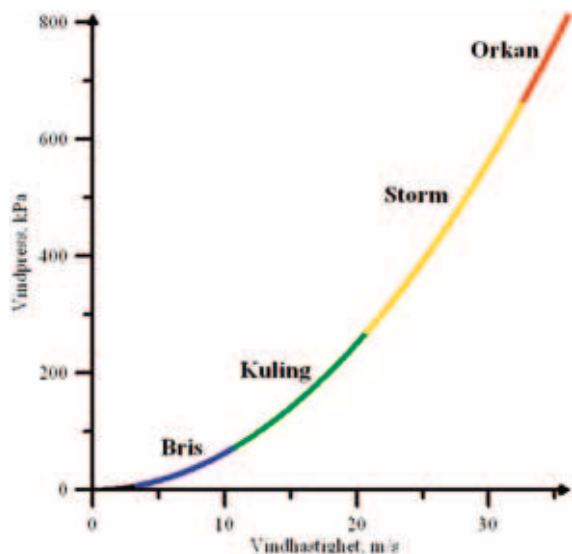
Økt CO₂-konsentrasjon i atmosfæren får bladenes spalteåpninger til å holde seg mer lukket og gir redusert transpirasjon, og det har vært hevdet at dette vil redusere tørkeproblemer under en klimændring. Dette er neppe riktig. Vannhusholdningen for et enkelt blad (nål) blir riktig nok effektivisert på denne måten, men det samlede vannforbruket (per arealenheter grunn) ventes likevel å øke fordi CO₂-økningen kan gi økt bladmasse.

Som nevnt kan tørke redusere tilveksten i skog og dermed redusere CO₂-opptaket, men en mer ekstrem effekt er at skog faktisk kan bli en netto produsent av CO₂. Det ble vist med målinger av CO₂-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.

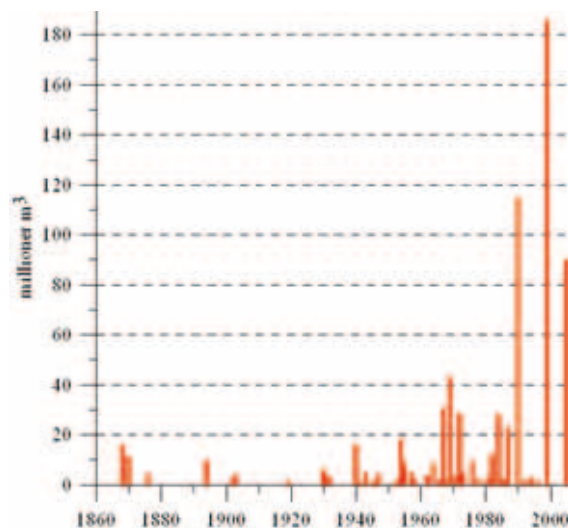
I tillegg til de direkte effektene av storm, kommer de indirekte, slik som sjørokkskader, påfølgende barkbilleangrep, og økt risiko for erosjon og ras. Stormen i Akershus og Sør-Hedmark i november 1969 var en utløsende faktor for den påfølgende barkbille-epidemien i Sør-Norge på 1970-tallet. Stormskader 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.