



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Skogskader – en kunnskapssammenstilling

NIBIO RAPPORT | VOL. 5 | NR. 143 | 2019



Kjersti Holt Hanssen, Svein Solberg, Ari Hietala, Paal Krokene, Jørund Rolstad, Halvor Solheim
og Bjørn Økland
Divisjon for skog og utmark

TITTEL/TITLE

Skogskader – en kunnskapssammenstilling

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Kjersti Holt Hanssen, Svein Solberg, Ari Hietala, Paal Krokene, Jørund Rolstad, Halvor Solheim og Bjørn Økland

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
09.12.2019	5/143/2019	Åpen	51358	19/01161
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02441-5	2464-1162	51		

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Skogbrand

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Kjersti Holt Hanssen

STIKKORD/KEYWORDS:

Klimaendringer, skogbehandling, skogskader

Climate change, forest damage, forest disturbance, forest management

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skogskader

Forest damage

SAMMENDRAG:

I Europa er det registrert økende omfang av skogskader de siste hundre år, og klimaendringer er identifisert som en viktig driver bak økningene i for eksempel vindskader, barkbilleangrep og skogbranner. Det er likevel store regionale forskjeller i Europa, med en tendens til økt vekst og produktivitet i nordlige og høyereliggende skogområder, og mer tørkestress og mortalitet i sør. Ikke bare endringer i klima, men også endringer i skogskjøtsel og skogstruktur påvirker forekomsten av skader i skog.

Det er behov for kunnskap om klimaendringer og skaderisiko i skog i Norge. Rapporten gir en kunnskapssammenstilling om skogskader innen flere ulike fagområder, og hvordan klimaendringer kan påvirke disse. De temaene som behandles er stormskader, snøskader, tørkeskader, skogbrann, frost og andre klimatiske skader, insekter, smånagere og soppskader.

Det ventes at omfanget av stormskader i Norge vil øke i fremtiden, mens omfanget av snøskader trolig vil avta, selv om det kan bli regionale endringer og potensielt mer snøskader i høyereliggende strøk på Østlandet. Tørkestress og påfølgende svekkelser og skader i skog har i dag størst omfang for granskog i den sørøstlige delen av Norge. Fremtidig utvikling for tørke og skogbrann er usikker på grunn av at både temperatur og nedbørmengde ventes å øke på Østlandet. For brannhyppighet forventes en moderat økning i Norge de nærmeste tiårene. En svekkelse av jetstrømmen kan imidlertid føre til at perioder med tørke varer lenger, noe som er bekymringsfullt med tanke på skader. Omfanget av vinter- og vårfrostskader kan paradoksal nok øke som en følge av varmere vintre, særlig i innlandet, fordi varme perioder vil redusere trærnes hardighet og toleranse for

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

påfølgende frost. Skader forårsaket av smågnagere forventes ikke å øke, men vi vil fortsatt få skader i plantefelt i smågnagerår. For skadeinsekter i Norge vil varmere klima gi økt overlevelse, reproduksjon og spredning, og kunne svekke forsvarsevnen hos vertstrær. Også skader forårsaket av rotkjuke, honningsopp og toppråtesopp forventes å øke i takt med klimaendringene. Et varmere klima og økt handel og transport av ulike varer øker risikoen for invasjon av nye skadelige insekt- og sopparter, og gir økt skadepotensiale for arter som allerede finnes i Norge i dag.

SUMMARY:

In Europe, increasing levels of forest disturbance damage have been recorded over the last hundred years. Climate change has been identified as an important driver behind the increases in, for example, wind damage, bark beetle attacks and forest fires. However, there are major regional differences in Europe, with a tendency for increased growth and productivity in northern forest areas, and more drought stress and mortality in the south. Not only changes in climate, but also changes in forest management and structure appear to affect the occurrence of forest damage.

There is a need for knowledge about climate change and damage risk in forests in Norway. This report provides a compilation of the knowledge on forest damage from several different disciplines, and how climate change can affect these. The topics covered are storm damage, snow damage, drought, forest fire, frost and other climatic damage, insects, rodents and fungi.

It is expected that the extent of storm damage in Norway will increase in the future, while the extent of snow damage is likely to decrease, although there may be regional changes and potentially more snow damage in higher altitudes in Eastern Norway. Drought stress and subsequent weakening and damage in forests currently have the greatest extent in spruce forests in the south-eastern part of Norway. Future developments for drought and forest fire are uncertain because both temperature and rainfall are expected to increase in SE Norway. For fire frequency, a moderate increase is expected in the coming decades. However, a weakening of the jet stream can cause periods of drought to last longer, which is worrying in terms of damage. The extent of winter and spring frost damage can paradoxically increase as a result of warmer winters, especially inland, because warm periods will reduce the tree's hardiness and tolerance for subsequent frosts. Damage caused by small rodents is not expected to increase, but during vole cycle peak years we can still expect injuries in regeneration areas. A warmer climate will increase survival, reproduction and spread of insect pests in Norway, and could weaken the defense capabilities of host trees. Damage caused by root and butt rot, honey fungus and red heart rot is also expected to expand with climate change. A warmer climate and increased trade and transport of various goods increase the risk of invasion of new harmful insect and fungal species and increase the damage potential for species that already exist in Norway today.

LAND/COUNTRY: Norge

FYLKE/COUNTY:

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

STED/LOKALITET:

GODKJENT /APPROVED

Frans Kockum

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Kjersti Holt Hanssen

NAVN/NAME

Forord

De forespeilede klimaendringene vil påvirke skogens produksjonsevne, men også ulike risikofaktorer. Økt temperatur og nedbør, lengre vekstsesong, lengre perioder uten tele i bakken og episoder med sterk vind kombinert med økt nedbørmengde er alle faktorer som kan ha betydning for frekvens og omfang av forskjellige typer skogskader.

Denne rapporten gir en kunnskapssammenstilling om skogskader innen flere ulike fagområder, både abiotiske skader (forårsaket av vind, snø, frost og tørke) og biotiske (forårsaket av insekter, smågnagere og sopp), og tar også for seg hvordan klimaendringer kan påvirke disse. Studien er finansiert av forsikringsselskapet Skogbrand.

Kjersti Holt Hanssen har vært prosjektleder ved NIBIO, og har redigert rapporten. Det er ulike bidragsytere til de forskjellige kapitlene:

Innledning: Kjersti Holt Hanssen

Forventede klimaendringer i Norge: Kjersti Holt Hanssen

Stormskader: Svein Solberg

Snøskader: Svein Solberg

Tørkeskader: Svein Solberg

Skogbrann: Jørund Rolstad

Frost og andre klimatiske skader: Svein Solberg

Insekter: Paal Krokene og Bjørn Økland

Smågnagere: Kjersti Holt Hanssen

Sopp: Ari Hietala og Halvor Solheim

Vidar Selås, NMBU, takkes for innspill til kapittelet om smågnagere, og Venche Talgø, NIBIO, for innspill til avsnittet om *Phytophthora*. Takk til Skogbrand for finansiering.

Ås, 09.12.19

Innhold

1	Innledning.....	7
1.1	Bakgrunn og avgrensninger.....	7
2	Klimaendringer i Norge.....	8
2.1	Klimaendringer de siste 100 år.....	8
2.2	Fremtidige endringer i klima.....	9
3	Ulike typer skogskader.....	11
3.1	Stormskader.....	11
3.1.1	Dagens status.....	11
3.1.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	11
3.1.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?.....	12
3.1.4	Eventuelle følgeskader.....	12
3.1.5	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko.....	12
3.1.6	Viktige kunnskapshull.....	13
3.1.7	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer.....	13
3.2	Snøskader.....	14
3.2.1	Dagens status.....	14
3.2.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	14
3.2.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?.....	15
3.2.4	Eventuelle følgeskader.....	15
3.2.5	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko.....	15
3.2.6	Viktige kunnskapshull.....	15
3.2.7	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer.....	15
3.3	Tørreskader.....	16
3.3.1	Dagens status.....	16
3.3.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	16
3.3.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?.....	16
3.3.4	Eventuelle følgeskader.....	17
3.3.5	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko.....	17
3.3.6	Viktige kunnskapshull.....	17
3.3.7	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer.....	17
3.4	Skogbrann.....	19
3.4.1	Dagens status.....	19
3.4.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	21
3.4.3	Hvilke treslag og aldersklasser er mest utsatt?.....	22
3.4.4	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko.....	22
3.4.5	Viktige kunnskapshull.....	22
3.4.6	Kompetansemiljøer.....	22
3.5	Frost og andre klimatiske skader.....	23
3.5.1	Dagens status.....	23
3.5.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	24
3.5.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?.....	24
3.5.4	Viktige kunnskapshull.....	24
3.5.5	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer.....	24

3.6	Insekter	24
3.6.1	Dagens status	24
3.6.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	25
3.6.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografi er mest utsatt?.....	30
3.6.4	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko	31
3.6.5	Viktige kunnskapshull.....	32
3.6.6	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer	32
3.7	Smågnagere	34
3.7.1	Dagens status	34
3.7.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	35
3.7.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografi er mest utsatt?.....	37
3.7.4	Aktuelle følgeskader.....	37
3.7.5	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko	37
3.7.6	Viktige kunnskapshull.....	37
3.7.7	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer	37
3.8	Soppskader	38
3.8.1	Dagens status	38
3.8.2	Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima.....	41
3.8.3	Hvilke treslag, aldersklasser og geografi er mest utsatt?.....	42
3.8.4	Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko	43
3.8.5	Viktige kunnskapshull.....	45
3.8.6	Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer	45
4	Diskusjon og oppsummering	48

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og avgrensninger

Ulike former for forstyrrelse i skog er naturlig og vanlig. Så lenge det har vært skog har det også forekommet vindfellinger, brann og insektangrep. Slike forstyrrelser er en del av dynamikken i skogen og bidrar også til økt diversitet og tilpasningsdyktighet i hele skogøkosystemet. Store forstyrrelser vil likevel være negativt for både skogbruksaktivitet og karbonlagring i skog. I lys av de endringene i klimaet som er observert de siste 100 år, og de vi venter skal komme i fremtiden, er det grunn til å være spesielt oppmerksom på endringer i forekomst av forstyrrelser og skader i skog.

På europeisk nivå er det funnet at skader forårsaket av for eksempel vind, barkbiller og branner har økt gjennom 1900-tallet, og også i første tiår av 2000-tallet. Denne økningen er drevet både av endringer i klima og av forandringer i skogskjøtsel og skogstruktur (Seidl et al. 2014). Også FNs internasjonale klimapanel uttrykker bekymring for økning i for eksempel brannfrekvens og forekomst av skadegjørere i skog (IPCC 2014). Klimaendringene på våre nordlige breddegrader vil imidlertid være annerledes enn lenger sør i Europa, og kan også gi et annet utslag på forekomst av skogskader.

Denne rapporten gir en kunnskapssammenstilling om skogskader i Norge innen flere ulike fagområder, og hvordan klimaendringer kan påvirke disse. De temaene som behandles er:

- Stormskader
- Snøskader
- Tørkeskader
- Skogbrann
- Frost og andre klimatiske skader
- Insekter
- Smågnagere
- Soppskader

For hvert tema blir dagens status og forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima gjennomgått. I tillegg drøftes hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder som er mest utsatt, eventuelle følgeskader, aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko, viktige kunnskapshull, samt nordiske og internasjonale kompetansemiljøer på fagfeltet.

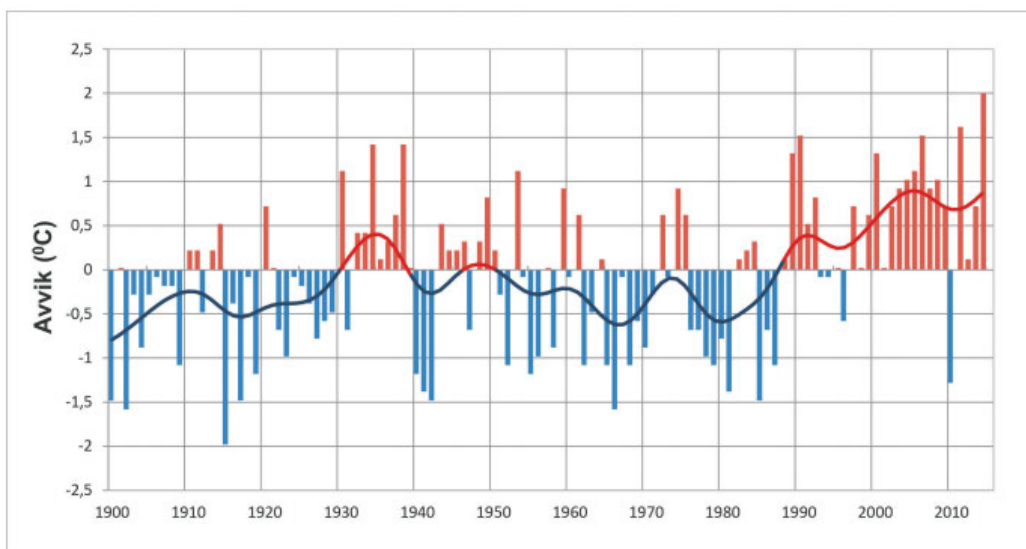
Rapporten er en forstudie med begrenset økonomisk ramme, og utredningen vil ikke nødvendigvis være fullstendig på alle områder. Skogbehandling for redusering av risiko drøftes også i rapporten «Skogbehandling for verdiproduksjon i et endret klima», NIBIO Rapport 99/2017.

2 Klimaendringer i Norge

Rapporten «Klima i Norge 2100» (Hanssen-Bauer et al. 2015) beskriver historiske endringer i klimaet i Norge og mulig klimautvikling i det 21. århundre, og ligger i hovedsak til grunn for beskrivelsen under. Der hvor det er aktuelt, er beskrivelser av klimaendringer i tillegg tatt opp under de ulike temaene i rapporten. I NIBIO Rapport 99/2017 (Søgaard et al 2017) gis også en grundig gjennomgang av data fra «Klima i Norge 2100», og hvilke implikasjoner klimaendringene kan ha for skogproduksjon og fremtidig skogbehandling.

2.1 Klimaendringer de siste 100 år

Det er observert tydelige endringer i klimaet fra 1900 og fram til i dag. Årsmiddeltemperaturen har økt med ca. 1 °C fra 1900 til 2014. Økningen har vært spesielt tydelig etter 1990 (figur 1). «Klima i Norge 2100» viser at temperaturøkningen har vært størst om våren og minst om vinteren, med en tendens til større økning i minimumstemperatur enn i middeltemperatur.



Figur 1. Utvikling av årsmiddeltemperatur for fastlands-Norge 1900-2014. Figuren viser avvik (°C) fra middelverdien for referanseperioden 1971-2000. (kilde: Klima i Norge 2100)

Når det gjelder nedbør, viser rapporten at det har vært en økning i nedbørnivået i Norge gjennom de siste hundre år, og spesielt fra slutten av 1970-tallet. De oppsummerer at «for landet som helhet er økningen på ca. 18 %. Økningen er størst om våren og minst om sommeren. Også for kraftig nedbør i løpet av kort tid har det de senere år vært en økning både i intensitet og hyppighet».

For vindforholdene, som er vanskeligere å analysere, er det ikke funnet signifikante endringer de siste 100 år. «Klima i Norge 2100» oppsummerer at det langs kysten og i høyfjellet blåser stiv kuling eller mer i 1 % av tiden. De siste 50 år har det vært en svak økning i vindhastigheten i denne øvre 1 %-andelen, men det er store variasjoner fra år til år og mellom ulike lokaliteter.

Enkle skiftninger i middeltemperatur forklarer ikke alltid den økningen i ekstreme værforhold som vi ser i dag. Det finnes ulike teorier som kan bidra til å forklare en raskere utvikling i retning av mer ekstremt vær. For flere av dem er den sterke oppvarmingen av Arktis sentral. Det antas at den påvirker polarfronten og den polare jetstrømmen, som er en kraftig vind som ligger over denne fronten. En jetstrøm-teori går ut på at vindbeltet svekkes når temperaturforskjellen mellom Arktis og sørligere

strøk blir mindre, og at buktningene i jetstrømmen da blir liggende lenger på samme sted. Det fører til at høytrykk og lavtrykk blir mer stillestående, slik at perioder både med klarvær og nedbør kan vare lenger (Coumou et al. 2014). Et eksempel på dette er den ekstremt tørre sommeren over store deler av Sør-Norge i 2018.

2.2 Fremtidige endringer i klima

«Klima i Norge 2100» fremhever at for de neste 10-20 år vil naturlige variasjoner i stor grad dominere over «klimasignalet» som skyldes økt drivhuseffekt. De anbefaler derfor å bruke oppdaterte data for dagens klima i stedet for framskrivninger for denne tidshorisonten.

Klimafremskrivningene fram mot neste århundre baseres i rapporten på resultater fra globale klimamodeller, kjørt med forskjellige «utslippsscenarioer» eller antagelser om fremtidige utslipp av klimagasser. Scenarioet kalt «RCP8.5» innebærer at utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til slutten av dette hundreåret, mens «RCP4.5» innebærer små utslippsendringer fram til 2050 og deretter utslippskutt. Men selv moderate endringer som følge av RCP4.5 er fortsatt av en slik størrelse at de vil ha store effekter på skogen.

I følge rapporten gir medianframskrivningen for RCP8.5 over en 100-årsperiode en økning i årsmiddeltemperaturen for Norge på ca. 4,5 °C, mens det for RCP4.5 beregnes medianverdier for Norge på 2,7 °C. De største endringene i årsmiddeltemperatur finner sted i nordlige deler av Norge, og oppvarmingen vil være større om vinteren enn om sommeren.

Medianverdiene for RCP4.5 gir en økning i vekstsesongen på opptil én måned i indre strøk av Østlandet og i en del innlandsstrøk i Nord-Norge, mens 1 – 2 måneders økning stort sett beregnes i landet forøvrig. Det beregnes kortere snøsesong for hele landet, med senere start av snøleggingen og tidligere snøsmelting.

Angående nedbør oppsummerer «Klima i Norge 2100» at ”både årsnedbør, antall dager med kraftig nedbør og nedbørmengden på dager med kraftig nedbør forventes å øke. For utslippsscenarioet RCP8.5 viser medianframskrivningen en økning i årsnedbør for Norge på 18 % mot slutten av århundret, en dobling av dager med kraftig nedbør og en økning i nedbørmengden på dager med kraftig nedbør på 19 %”.

For vind beregnes små endringer både i middelvind og hyppighet av episoder med store vindhastigheter. Det er imidlertid en tendens til økning i vindhastighet for de 1% kraftigste vindene vinterstid, og for absolutte maksimumsverdier for alle årstider.

Når det gjelder tørke oppsummerer rapporten at ”det beregnes en økning i markvannsunderskuddet, spesielt mot slutten av århundret. Også varigheten av perioder med lav grunnvannstand og lav vannføring i elver kan øke flere steder i landet. Økningen blir vesentlig større med RCP8.5 enn RCP4.5. Økt markvannsunderskudd, lav grunnvannstand og lengre perioder med lav vannføring om sommeren kan få følger for blant annet jord- og skogbruk, vanningsbehov og skogbrannfare.”

Søgaard et al. (2017) fremholder at selv om utviklingen i klimaet de siste år i Norge i sum bør føre til økt vekst i skogen, er det noen forbehold om utfordringer relatert til tørke i slutten av århundret. Et endret klima kan lede til et sterkt endret skadebilde, og RCP 8.5 representerer så store endringer i klima at det potensielt kan ha store og uforutsette endringer på skogens dynamikk og utvikling.

REFERANSER – INNLEDNING OG KLIMAKAPITTEL

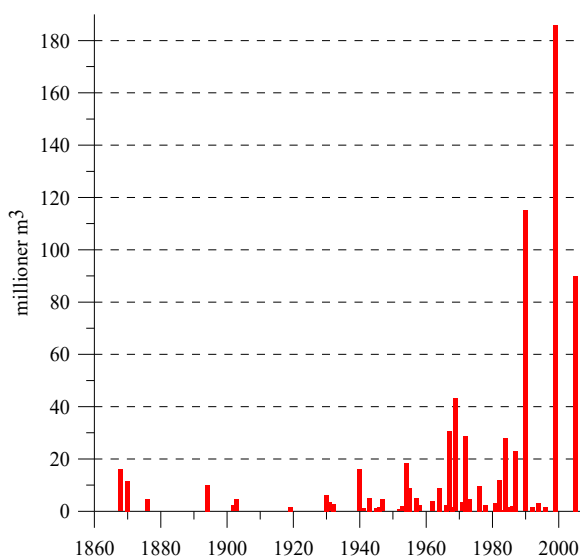
- Coumou, D., Petoukhov, V., Rahmstorf, S., Petri, S. and Schellnhuber, H.J. 2014 Quasi-resonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 111, 12331-12336.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E.J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A. et al. (red.) 2015. *Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. NCCS report no. 2/2015. 203 s.
- IPCC 2014. Summary for Policymakers. I: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Rammer, W. & Verkerk, P.J. 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4, 806-810.
- Søgaard, G., Astrup, R., Allen, M., Andreassen, K., Bergseng, E., Fløistad, I.S., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kvaalen, H., Solberg, S., Solheim, H., Steffenrem, A., Stokland, J. & Økland, B. 2017. *Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring*. NIBIO Rapport Nr. 99. 85 s.

3 Ulike typer skogskader

3.1 Stormskader

3.1.1 Dagens status

Storm er den mest omfattende skadeårsak på skog i Europa. Regnet i kubikkmeter utgjorde stormskader 53 % av skogskadene i Europa de siste 50 år (Fig. 2). Vi kan skille mellom to kategorier av stormskader; endemiske skader som rammer ekstra utsatte enkelttrær for eksempel i nye hogstkanter, og katastrofeskader ved eksepsjonelt høy vindstyrke (Gardiner et al. 2008). Årsaksforholdene kan være noe ulike for disse to kategoriene, og det gjør at resultatene fra ulike studier kan være ulike og av og til motstridende.



Figur 2. Omfanget av stormskader på skog i Europa 1870–2005 .

3.1.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

Omfanget av stormskader har økt gjennom mange tiår, og ventes å øke ytterligere framover i tid. Årsakene er en svak økning i frekvensen av episoder med sterk vind, økt nedbørmengde, mer tien (uten tele) og våt jord vinterstid, samt en akkumulering av skog, med økende gjennomsnittlig høyde og alder på skogen. Andre forhold som kan bidra til mer stormskader er kraftige nedbørepisoder og mer rotråte.

Omfanget av stormskader avhenger av tre forhold; skadepotensialet (skogareal, kubikkmasse), skogens stabilitet mot vind (treslag, jordbunnsforhold mm.) og vindforhold (frekvens av storm, vindstyrke, vindstyrke i kast) (Usbeck et al. 2010) . En generell økning i stormskader i Europa de siste 100 år synes å henge sammen med alle disse tre risikofaktorene, og at året 1990 har utgjort et vendepunkt med en betydelig økt frekvens av storm etter dette året (Gregow et al. 2017). En undersøkelse fra Sveits viste at omfanget av stormskader var 22 ganger høyere i perioden 1958-2007 enn i perioden 1858-1907, og at årsakene var en økning i stående volum, dårligere forankring på grunn av mindre tele, 50% økning i vinternebbør og våtere jord, og en økt frekvens av kastevinder over 35 m/s (Usbeck et al. 2010).

I klimascenariet er det altså ikke bare vindstyrke som er relevant, men også vintertemperatur og -nedbør, og nedbørstype (regn eller snø) som påvirker trærnes forankring (tele, jordfuktighet). Klimascenariene for vindstyrke i Norge er usikre, og de er isolert sett ikke veldig bekymringsfulle. Det kombinerte Hadley-MPI-scenariet gir kun små endringer fra perioden 1961-1990 til perioden 2071-2100 både i gjennomsnittlig døgnlig maksimums-vindstyrke i Norge for alle årstider. Både vinter, vår og sommer ligger de projiserte endringene innenfor $\pm 2\%$. Om høsten ventes imidlertid en økning på 2-6 % over hele landet. Endringene i frekvensen av høye vindstyrker kan imidlertid endre seg mer enn middelverdiene. Det ventes for eksempel en viss økning i frekvensen av døgn med vindhastighet >15 m/s de aller fleste steder. Økt temperatur og nedbør vinterstid er imidlertid sikrere, og effekten av dette på forankringen er derfor kanskje det viktigste momentet som tilsier mer stormskader (Solberg & Dalen 2007). I tillegg kommer at vi i Norge avvirker langt mindre enn tilveksten, slik at det akkumuleres skogvolum over tid og både alder og høyde på trærne har et økende gjennomsnitt.

3.1.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?

Gran er mer utsatt for stormskader enn andre treslag, mens det ikke er noen klar forskjell mellom løvtrær og furu. I en studie av bestand med høyde over 10 m etter en storm i 2005 i Finland fant man at skadeomfanget var høyest i gran- og furudominerte bestand, at det ikke var forskjell mellom ren- og blandede bestand, og at i blandingsskog så økte skadeomfanget med andelen gran (Donis et al. 2018). Videre fant man imidlertid at bjørkebestand hadde mer skader enn furubestand, og det er derfor ikke helt konsistens i denne studien omkring bjørk og furu. Det er mulig at det er en samspillseffekt her, hvor bjørk er mer stabil enn furu når det er tele, men mindre stabil uten tele, fordi bjørk har liten evne til å motstå rotvelt, og i tillegg spiller det stor rolle for bjørk om løvet er på eller ikke når det er storm (Peltola et al. 2000, Donis et al. 2018).

Trehøyde er den viktigste forklaringsvariabelen for vindskader, og økende omfang av rotråte i gran med økende alder, så jo eldre skogen er desto mer utsatt er skogen for stormskader (Dobbertin 2002). I Norge er de områdene som har mye gran mest utsatt (Vestfold og Oppland), og kystnære strøk hvor det er sterk vind, mye nedbør og lite tele (Solberg et al. 2019).

3.1.4 Eventuelle følgeskader

I tillegg til de direkte effektene av storm, kommer de indirekte, slik barkbilleangrep, sjørøkkskader 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. Etter nyttårsorkanen på nordvestlandet og i Trøndelag i januar 1992 var det sjørøkkskader flere mil innover fastlandet, og mange grantrær døde (Solberg et al. 1994). I Nord-Amerika er det mye fokus på økt skogbrannfare etter stormskader, fordi mye biomasse omgjøres til dødt, brennbart virke og fordi jorda blir tørrere etter en stormskade (Wang et al. 2010).

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 nyttårsorkanen på nordvestlandet og i Trøndelag i januar 1992 var det erstatningsutbetalinger på omkring 250 mill kr.

3.1.5 Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko

Skogbehandlingen for å redusere stormskader er velkjent og omtalt i flere norske rapporter de siste årene, og nyere undersøkelser har bekreftet dette. Vi kan kort nevne her foryngelse med mer stormsterke treslag (mindre gran), sterkere reduksjon av treantallet i ungskogpleie og tynning, unngå seine tynninger (f.eks. >20 m), mere fokus på å finne vindsterke hogstkanter og grøfting på vannmettede lokaliteter (Valinger et al. 2019). Det er imidlertid vanskelig å endre skogbehandlingen.

Etter stormen Gudrun i Sverige var det en sterk satsing fra myndighetenes side for å øke mengden løvtrær i foryngelsen, blant annet med økonomiske støtteordninger til inngjerding mot viltskader, men i ettertid framstår skogbehandlingen i det hele som tilnærmet uforandret, med en sterk dominans av gran i ungsbogen i de rammede områdene i Sverige (Valinger et al. 2019).

3.1.6 Viktige kunnskapshull

Det er to viktige kunnskapshull, eller usikre forhold. For det første har det de siste årene i Norge vært en diskusjon omkring utgangstettheten i ungskog, dvs: finnes det et optimumspunkt? På den ene siden så kan det virke som om jo glisnere en ungskog er desto sterkere blir skogen mot vind. Det som underbygger dette er at enkelttre-stabiliteten blir ekstremt høy for helt fristilte trær, som vi kan se i alléer og i enkelte rekordstore trær. På den annen side er det visse resultater fra NIBIOs langsiktige feltforsøk som tyder på at det finnes et optimumspunkt som gir maksimal, samlet vindstabilitet basert på enkelttre- og sosial stabilitet.

For det andre er det usikkerhet omkring bestandsskogbruk versus kontinuerlig kronedekke med lukkede hogster (Pukkala et al. 2016). En rekke studier av dette gir motstridende konklusjoner om hva som gir mest vindskader. Trolig henger dette sammen med at det avhenger av en rekke forhold lokalt, i den aktuelle skogen og den aktuelle stormen.

3.1.7 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

Generelt er skogforskningen omfattende i våre naboland Sverige og Finland, og dette gjelder også for stormskader. De to universitetene Sveriges Lantbruksuniversitet (Sverige) og University of Eastern Finland (Finland) kan framheves her. Det har imidlertid vært forsket mye på stormskader i skog også i Danmark (Københavns universitet) og i Storbritannia (Forest Research), og i begge tilfeller er dette knyttet særlig til skogreising med tilhørende spørsmål om treslagsvalg og skogskjøtsel generelt. I Tyskland (Baden Württemberg Forest Research Institute) og i Sveits (WSL, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) har det også vært sterke forskergrupper på vindskader.

REFERANSER – STORMSKADER

- Dobbertin, M. 2002. Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *For Snow Landsc Res*, 77, 187-205.
- Donis, J., Kitenberga, M., Snepsts, G., Dubrovskis, E. & Jansons, A. 2018. Factors affecting windstorm damage at the stand level in hemiboreal forests in Latvia: case study of 2005 winter storm. *Silva Fennica*, 52, 1-8.
- Gardiner, B., Byrne, K., Hale, S., Kamimura, K., Mitchell, S. J., Peltola, H. & Ruel, J.-C. 2008. A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. *Forestry*, 81, 447-463.
- Gregow, H., Laaksonen, A. & Alper, M. 2017. Increasing large scale windstorm damage in Western, Central and Northern European forests, 1951–2010. *Scientific reports*, 7, 46397.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A. & Granander, M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135, 143-153.
- Pukkala, T., Laiho, O. & Lähde, E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management*, 372, 120-127.
- Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J. & Schuck, A. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9, 1620-1633.

- Solberg, S. & Dalen, L. S. 2007. Effekter av klimaendring på skogens helsetilstand, og aktuelle overvåkingsmetoder, Ås, Norsk institutt for skog og landskap.
- Solberg, S., McInnes, H. & Blennow, K. 2019. Årsaksfaktorer for vind- og snøskader i Sør-Norge. NIBIO rapport.
- Solberg, S., Venn, K., Solheim, H., Horntvedt, R., Austarå, Ø. & Aamlid, D. 1994. Tilfeller av skogskader i Norge i 1992 og 1993 = Cases of forest damage in Norway 1992 and 1993, Ås, Skogforsk.
- Usbeck, T., Wohlgemuth, T., Dobbertin, M., Pfister, C., Bürgi, A. & Rebetez, M. 2010. Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 47-55.
- Valinger, E., Kempe, G. & Fridman, J. 2019. Impacts on forest management and forest state in southern Sweden 10 years after the storm Gudrun. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 92, 481-489.
- Wang, W., Qu, J. J., Hao, X., Liu, Y. & Stanturf, J. A. 2010. Post-hurricane forest damage assessment using satellite remote sensing. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 122-132.

3.2 Snøskader

Snøskader forårsaker hovedsakelig toppbrekk, men stammebrekk, rotvelt og snøbøy forekommer også ofte. Snøskader skyldes ofte en kombinasjon av snø og vind, og med spesielle temperaturforhold omkring frysepunktet, og det kan gjøre årsaksforholdene sammensatte og kompliserte. Et eksempel på det siste er den såkalte 'Nedsnødd'-hendelsen på Sørlandet den 5. – 6. november 2016, forårsaket av (1) mye våt snø, (2) frost som gjorde at snøen festet seg i trærne, og (3) vind av moderat styrke. Ulike klimatiske variabler brukes som mål på påkjenningene av snø på trær, blant annet antall dager per år med over 20 kg/m² med snøfall (Kilpeläinen et al. 2010) og antall dager per år med nedbørmengde over 10mm og gjennomsnittlig lufttemperatur mellom 0,5 og 2 grader pluss (Bonelli et al. 2011, Nygaard & Fikke 2012, Solberg et al. 2017).

3.2.1 Dagens status

Det har i de siste årene vært stort omfang av snøskader på skog, og særlig har dette rammet skog i Agder, Telemark og Vestfold. Store mengder nedbør i form av våt snø, til dels etterfulgt av kuldegrader og noe vind, har ført til disse skadene. Særlig kan nevnes våtsnøhendelsen i november 2016 i Agder, samt en lang periode med gjentatte snøskader i februar-mars 2018 på Østlandet. Dette har vært tatt som eksempler på at værtypene har lettere for å henge seg opp i dag på grunn av klimaendringer og redusert jetstrøm (Coumou et al. 2014), og at dette kan føre til en økning i omfanget av skogskader.

3.2.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

Det ventes at skadeomfanget samlet sett vil avta i Norge, men at det vil bli regionale endringer med flytting av skadebildet fra Vestlandet til høyere liggende strøk på Østlandet (Solberg & Tajet 2018, Solberg et al. 2019).

I modellkjøringer med klimadata i Finland har man funnet at antall dager med risiko for snøskader samlet sett for hele landet vil avta med 11%, 23% og 56%, henholdsvis, for tre 30-årsperioder fra 1991-2080 sammenlignet med referanseperioden 1961-90 (Kilpeläinen et al. 2010), men at det vil skje en regional endring med lavere risiko i sørlige og vestlige deler av landet og en økning i østlige og nordlige områder (Lehtonen et al. 2016).

3.2.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?

Når det gjelder treslag så blir dette langt på vei som for stormskader, men vi har for løvtrær en særlig risiko for snøbøy. Det er særlig i hogstklasse 3 og 4 at skogen er utsatt for snøskader. Snøskader på Vestlandet har hittil vært svært vanlig, men dette ventes å nærmest forsvinne over tid fordi vinternedbøren etter hvert vil komme utelukkende som regn. Men skadeomfanget ventes å øke i høyereliggende strøk på Østlandet, og særlig i de grandominerte områdene. Det er vanskelig å si noe mer spesifikt enn dette, fordi snøskader er et resultat av en sekvens av spesielle værforhold, eller sagt på en annen måte; en spesiell konstellasjon av temperatur, nedbør og vind.

3.2.4 Eventuelle følgeskader

Følgeskader blir liknende som etter stormskader, kap.3.1.4.

3.2.5 Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko

På samme måte som for vindskader, vil sannsynligheten for skade være styrt av statikk. Påførte krefter og momenter fra snø i eventuell kombinasjon med vind vil motvirkes av trærnes styrkeegenskaper. Vi må derfor legge til grunn at vi gjennom skogbehandlingen kan redusere risikoen for snøskader gjennom avstandsregulering og tidlig tynning, slik at vi får høy avsmalning (høyt d/h-forhold) og symmetrisk trekroner. Dette er også vist eksperimentelt og med modellering (Peltola et al. 2000). Det er imidlertid ulike resultater basert på studier etter kraftige snøskader. I en undersøkelse etter omfattende snøskader i Tsjekia i 2005-2009 ble det vist at skadeomfanget var relatert til volum, alder, høyde og diameter, og man konkluderte med at man har begrensede muligheter til å øke trærnes stabilitet mot snøskader gjennom skogbehandlingen fordi avsmalning og bestandstetthet ikke var relatert til skadeomfanget (Hlásny et al. 2011). I motsetning til dette konkluderer en studie fra naturskoger med løvtrær i Iran med at riktig skogbehandling kan redusere snøskader til et minimum, fordi økende slankhet (liten avsmalning) økte risikoen for snøskader (Tavankar et al. 2019). Det ble for øvrig funnet at de ulike skadetyperne har ulike risikofaktorer, hvor økende diameter i brysthøyde (DBH) økte sannsynligheten for snøskader i trekrona, men reduserte sannsynligheten for stammebrekk, rotvelt og snøbøy. Kanskje kan noe av forskjellen mellom slike studier skyldes at man i varierende grad skiller mellom ulike skadetyper etter snø.

3.2.6 Viktige kunnskapshull

Generelt er snøskadenes årsaksforhold mer sammensatte og forståelsen dermed noe mindre kjent. Det er imidlertid for lite kunnskap om hvor stor effekt skogbehandlingen har på snøskadene, særlig hvordan ungskogpleie kan øke stabiliteten gjennom økt diameter/høydeforhold og mer symmetriske trekroner.

3.2.7 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

Kompetansemiljøene her blir som for stormskader, kap. 3.1.7.

REFERANSER - SNØSKADER

Bonelli, P., Lacavalla, M., Marcacci, P., Mariani, G. & Stella, G. 2011. Wet snow hazard for power lines: a forecast and alert system applied in Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2419-2431.

Coumou, D., Petoukhov, V., Rahmstorf, S., Petri, S. & Schellnhuber, H. J. 2014. Quasi-resonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 12331-12336.

- Hlásny, T., Křístek, Š., Holuša, J., Trombik, J. & Urbaňcová, N. 2011. Snow disturbances in secondary Norway spruce forests in Central Europe: Regression modeling and its implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 262, 2151-2161.
- Kilpeläinen, A., Gregow, H., Strandman, H., Kellomäki, S., Venäläinen, A. & Peltola, H. 2010. Impacts of climate change on the risk of snow-induced forest damage in Finland. *Climatic Change*, 99, 193-209.
- Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Gregow, H., Venäläinen, A. & Peltola, H. 2016. Heavy snow loads in Finnish forests respond regionally asymmetrically to projected climate change. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 2259-2271.
- Nygaard, B. E. & Fikke, S. 2012. Isstorm. Ising på kraftforsyningsnettet. I: Steen, R. (ed.) NVE rapport. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Peltola, H., Kellomäki, S., Hassinen, A. & Granander, M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135, 143-153.
- Solberg, S., Heggem, E. S. F., Søvde, N. E. & McInnes, H. 2017. Skogbehandling langs kraftlinjer. Teorigrunnlag. NIBIO Rapport.
- Solberg, S., McInnes, H. & Blennow, K. 2019. Årsaksfaktorer for vind- og snøskader i Sør-Norge. NIBIO rapport.
- Solberg, S. & Tajet, H. T. T. 2018. Snøskader på trær langs kraftledninger. NIBIO POP.
- Tavankar, F., Lo Monaco, A., Nikooy, M., Venanzi, R., Bonyad, A. & Picchio, R. 2019. Snow damages on trees of an uneven age in mixed broadleaf forests: effects of topographical conditions and tree characteristics. *Journal of Forestry Research*, 30, 1383-1394.

3.3 Tørkeskader

3.3.1 Dagens status

Tørkestress og påfølgende svekkelser og skader i skog er en av de skogskadetyperne som har størst omfang for granskog i den sørøstlige delen av Norge. De sterkeste tørkehendelsene vi har hatt her var i 1947, i tre år på siste halvdel av 1970-tallet, i 1992 og i 2018. Med tørkestress mener vi her akutt tørke, og ikke kronisk tørke på tørre lokaliteter. Det er for eksempel vist at når det gjelder angrep av stor granbarkbille, så er det akutt tørkestress og ikke kronisk tørkestress på tørre lokaliteter som virker inn (Netherer et al. 2019).

3.3.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

Globalt ventes det at klimaendringene vil gi økt intensitet og frekvens av tørke, dels basert direkte på klimascenarier for temperatur, nedbør og vind, og dels basert indirekte på at værtyperne blir mer stabile på grunn av en svekkelse av jetstrømmen ('været henger seg opp') (Coumou et al. 2014). Den langvarige tørken i 2018 er et eksempel på hvilke effekter man kan få av det sistnevnte. Det er imidlertid usikkert om sommerklimaet på Østlandet blir tørrere eller fuktigere, fordi både temperatur og nedbørmengde ventes å øke.

3.3.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?

I Norge er det som kjent gran som er mest utsatt for tørkeskader, på grunn av stor barmasse og høyt topp/rot-forhold. Tørken dreper særlig nylig utsatte planter og småtrær, men kan ofte føre til avdøying

også for eldre trær, enten direkte eller indirekte med de vanlige følgeskadene (se under). Det er særlig lavlandet i Sørøst-Norge som har tørkeskader. Det er for eksempel vist at tilveksten i granskog er begrenset av vanntilgang i lavlandet i denne landsdelen, mens for resten av landet er den begrenset av varme (Andreassen et al. 2006).

3.3.4 Eventuelle følgeskader

Tørkestress etterfølges ofte av barkbilleangrep, særlig stor granbarkbille (*Ips typographus*) og dobbeltøyet barkbille (*Polygraphus poligraphus*), soppangrep på rotsystemet, særlig honningsopp (*Armillaria* spp.) og rotkjuke (*Heterobasidion* spp.), og for øvrig en generell svekkelse på grunn av finrotavdøing, kavitasjon i xylemet (blokkering av vannledningsbaner), kroneutglisning, avdøing av greiner og knopper, redusert konsentrasjon av mineralnæringsstoffer i bladene, og sterk blomstring og kongleproduksjon (Wehrmann 1961, Worrell 1983, Gruber 1990, Dambrine et al. 1993, Solberg 2004, Solberg et al. 2015, Rosner et al. 2016). I tillegg kommer økt skogbrannfare.

3.3.5 Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko

Avstandsregulering og tidlig tynning øker trærers resiliens, det vil si deres evne til å hente seg inn med normal tilvekstrate etter tørkestress (Kohler et al. 2010, Sohn et al. 2013), og gir også mindre angrep av barkbiller (Fettig et al. 2007).

Økt innblanding av furu i granskog er et mulig tiltak for å redusere tørkeproblemer, dels ved å spre risiko i en tid med klimaendring, og dels for å øke andelen tørkesterke trær. Dette bør vurderes nærmere, men se avsnittet under.

3.3.6 Viktige kunnskapshull

I Sverige vurderes det foreløpig som uklart om økt innblanding av furu i granskog bør anbefales på grunn av usikkerhet omkring elgbeiting, produktivitet og mer komplisert skogbehandling (Keskitalo et al. 2016).

Det er uklart hvordan tørkestress påvirker trærnes karbohydratstatus og forsvarsevne mot insekter og sopp sykdommer (Huang et al. 2019, Netherer et al. 2019).

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 klimaendring. Dette er neppe riktig. Vannhusholdningen for et enkelt blad (nål) blir riktig nok effektivisert på denne måten, men det samlede vannforbruket (per areal enhet grunn) ventes likevel å øke fordi CO₂-økningen kan gi økt bladmasse.

3.3.7 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

Det er særlig skogforskingsmiljøer i Sentral-Europa som bør nevnes her, inkludert Universitetet i Freiburg (Tyskland), INRA (French National Institute for Agricultural Research, Frankrike) og WSL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Sveits).

REFERANSER - TØRKESKADER

Andreassen, K., Solberg, S., Tveito, O. E. & Lystad, S. L. 2006. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) growth in Norway. *Forest Ecology and Management*, 222, 211-221.

Coumou, D., Petoukhov, V., Rahmstorf, S., Petri, S. & Schellnhuber, H. J. 2014. Quasi-resonant circulation regimes and hemispheric synchronization of extreme weather in boreal summer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 12331-12336.

- Dambrine, E., Carisey, N., Pollier, B. & Granier, A. 1993. Effects of drought on the yellowing status and the dynamics of mineral elements in the xylem sap of declining spruce (*Picea abies* L.). *Plant and Soil*, 150, 303-306.
- Fettig, C. J., Klepzig, K. D., Billings, R. F., Munson, A. S., Nebeker, T. E., Negrón, J. F. & Nowak, J. T. 2007. The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest ecology and management*, 238, 24-53
- Gruber, F. 1990. Verzweigungssystem, Benadelung und Nadelfall der Fichte (*Picea abies*): Branching System, Needle Fall and Needle Density of Norway Spruce (*Picea abies*), Springer.
- Huang, J., Kautz, M., Trowbridge, A. M., Hammerbacher, A., Raffa, K. F., Adams, H. D., Goodsman, D. W., Xu, C., Meddens, A. J. H., Kandasamy, D., Gershenson, J., Seidl, R. & HARTMANN, H. 2019. Tree defence and bark beetles in a drying world: carbon partitioning, functioning and modelling. *New Phytologist*, n/a.
- Keskitalo, E., Bergh, J., Felton, A., Björkman, C., Berlin, M., Axelsson, P., Ring, E., Ågren, A., Roberge, J.-M. & Klapwijk, M. 2016. Adaptation to climate change in Swedish forestry. *Forests*, 7, 28.
- Kohler, M., Sohn, J., Nägele, G. & Bauhus, J. 2010. Can drought tolerance of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be increased through thinning? *European journal of forest research*, 129, 1109-1118.
- Netherer, S., Panassiti, B., Pennerstorfer, J. & Matthews, B. 2019. Acute drought is an important driver of bark beetle infestation in Austrian Norway spruce stands. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2, 39.
- Rosner, S., Světlík, J., Andreassen, K., Børja, I., Dalsgaard, L., Evans, R., Luss, S., Tveito, O. E. & Solberg, S. 2016. Novel hydraulic vulnerability proxies for a boreal conifer species reveal that opportunists may have lower survival prospects under extreme climatic events. *Frontiers in plant science*, 7, 831
- Sohn, J. A., Gebhardt, T., Ammer, C., Bauhus, J., Häberle, K.-H., Matyssek, R. & Grams, T. E. 2013. Mitigation of drought by thinning: short-term and long-term effects on growth and physiological performance of Norway spruce (*Picea abies*). *Forest Ecology and Management*, 308, 188-197.
- Solberg, S. 2004. Summer drought: a driver for crown condition and mortality of Norway spruce in Norway. *Forest Pathology*, 34, 93-104.
- Solberg, S., Aamlid, D., Tveito, O. E. & Lystad, S. 2015. Increased needlefall and defoliation in Norway spruce induced by warm and dry weather. *Boreal Environment Research*, 20, 335-349.
- Wehrmann, J. 1961. Die Auswirkung der Trockenheit von 1959 auf die Nährelementversorgung bayerischer Kiefernbestände. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 80, 272-287.
- Worrell, R. 1983. Damage by the spruce bark beetle in South Norway 1970-80: A survey, and factors affecting its occurrence. *Medd Nor Skogforsøksves*, 38, 1-34.

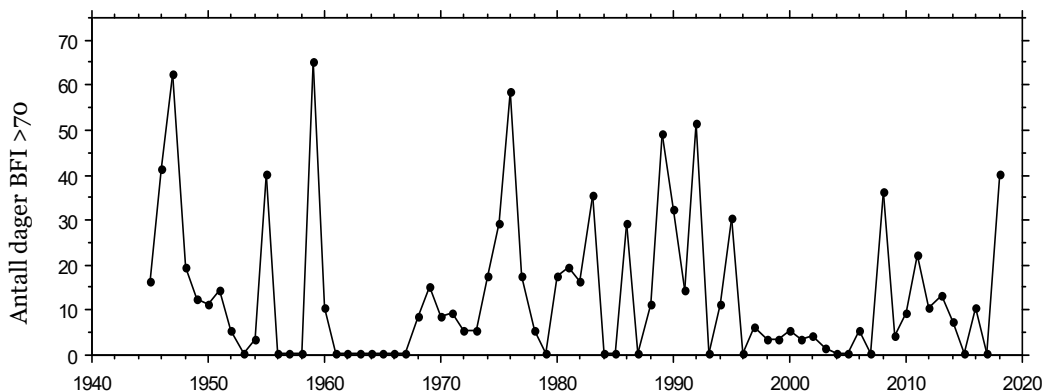
3.4 Skogbrann

Brann er den viktigste naturlige forstyrrelsesfaktoren i det boreale barskogsbeltet og den påvirker nærings- og karbonkretsløpet, vegetasjonssuksesjoner, og sammensetningen av flora og fauna (Kasischke & Stocks 2000, Kelly m.fl.2013). Klimascenarier for Norge viser at klimaet de neste 100 år sannsynligvis vil bli varmere og kanskje mer nedbørrikt (Hanssen-Bauer m. fl. 2003). Dette kan medføre økt risiko for ukontrollerte storbranner (eks. 30 km² i Mykland i 2008 og 160 km² i Västmanland, Sverige i 2014). Den varme sommeren 2018 ble vi minnet på dette; 12. juli opplevde vi at 11000 lyn startet over 160 skogbranner i Sørøst-Norge.

For å kunne forutsi framtidig brannrisiko i et endret klima trenger vi en historisk referanse. Kunnskap om tidligere variasjoner i klima og brannregimer er en forutsetning for å kunne identifisere og iverksette tiltak som kan redusere brannrisikoen og framtidige tap og skader. Per i dag vet vi lite om forekomst og hyppighet av skog- og utmarksbranner i Norge, og spesielt lite vet vi om hvordan brannregimet påvirkes av klimaendringer og variasjon i vegetasjon og menneskelig aktivitet.

3.4.1 Dagens status

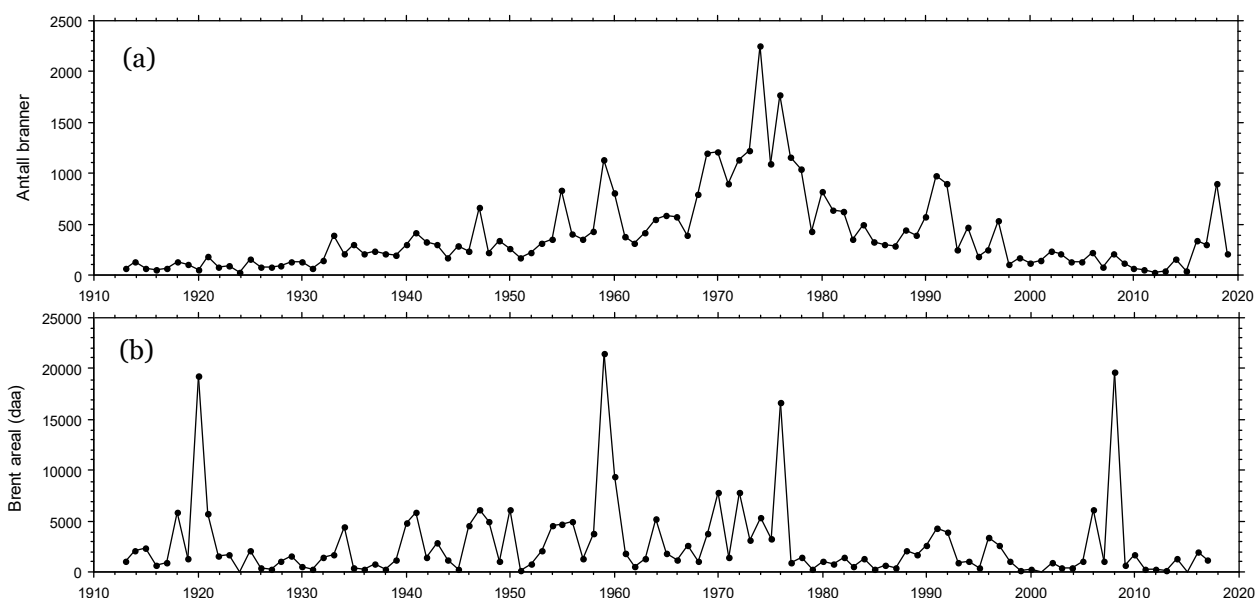
Klimaserier for 1900 til i dag fra Meteorologisk Institutt viser en økning i sommertemperaturen på 0,6-0,8 °C de siste 100 årene for Sør-, Øst- og Vestlandet, med noe større økning for Midt- og Nord-Norge (0,9-1,0 °C). Nedbørseriene viser en svak økning på 15-20 mm for Sør- og Østlandet og noe høyere for Vestlandet, Midt- og Nord-Norge (35-50 mm). Vårtemperaturen har imidlertid økt med omlag 2 °C, noe som har medført at barmarksperioden starter 2-3 uker tidligere i Sør-Norge. En tørkeindeks der temperatur og nedbør er veid 2:1 viser ingen økning i 100-års perioden, noe som trolig skyldes av økningen i nedbør har oppveid økningen i temperatur. Statistikken viser også at det ikke har vært noen økning i vindhastighet eller brannfareindeks (Fig. 3).



Figur 3. Antall sommerdager med brannfareindeks >70 beregnet for Tveitsund meteorologiske stasjon i Nissedal, Telemark i perioden 1945-2018.

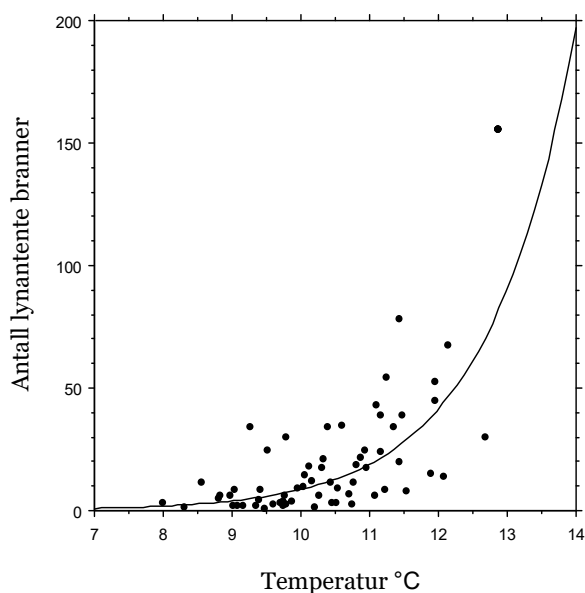
Landsdekkende brannstatistikk for skog- og utmarksbranner fra 1913 til i dag viser at over 90% av antall branner skyldes menneskelig aktivitet og uforsiktighet (Skogdirektøren 1913-1923, SSB 1924-1986, DSB 1987-2015). På Sør- og Østlandet utgjør lynantente branner 6-8%, mens det for Vestlandet, Midt- og Nord-Norge utgjør 2-4%. Årlig antall lynantente branner utgjør 0,035-0,042 pr. 100 km² på Sør- og Østlandet (en brann pr. 24-29 år), men kun 0,003-0,009 på Vestlandet og nordover (en brann pr. 100-300 år). Det er derfor kun på Sør- og Østlandet at lynantente branner utgjør en nevneverdig risiko.

Fra perioden 1913-1930 til midt på 70-tallet øker antall branner kraftig; lynantente branner med en faktor på 3 og menneskeskapte branner hele 9 ganger (Fig. 4). Ser vi på Sør- og Østlandet samlet er tallene henholdsvis 13-40 lynbranner og 60-550 menneskeskapte branner pr. år. Max antall finner vi i årene 1974-1976 med 170 lynbranner og 1.150 branner pga folk pr. år. Fra 1970-tallet og fram til 2000-tallet faller brannhyppigheten tilsvarende tilbake til samme nivå som 1913-1930. Samlet sett har vi hatt en tidobling av årlig antall branner (100-1000) fra 1913 fram til 1970-tallet, og en nesten like stor tilbakegang (1000-145 branner) fram til i dag. Disse trendlinjene kan ikke forklares med klimatiske forhold hverken i den første 60-års perioden eller i den siste 40-års perioden (Rolstad m. fl. 2019). Økningen fra 1920-tallet til 1970-tallet skyldes sannsynligvis bedre brannovervåkning/rapportering og økning i folketall, men noe av økningen kan trolig også forklares ut fra økning i brennbar biomasse (økning i mengde død ved og kvistrik ungskog). Den markerte nedgangen i brannhyppigheten etter 1970-tallet må forklares med bedre brannberedskap og mer forsiktighet med bruk av åpen ild i skog og utmark.



Figur 4. Antall branner (a) og areal brent (b) for Norge samlet i perioden 1913-2019. Kilder: Skogdirektøren 1913-1923, SSB 1924-1986, DSB 1987-2019.

Ser vi bort fra disse langtidstrendene og ser på år-til-år variasjonen finner vi at antall branner øker eksponentielt med klimavariabler som temperatur og tørkeindeks samt brannfareindeks (BFI). Et viktig funn er at antall lynantente branner dobles ($1,9 \times$) for hver grads økning i gjennomsnittlig sommertemperatur (Fig. 5). De menneskeskapte brannene øker også eksponentielt, men med en vesentlig lavere faktor ($1,3 \times$). Denne forskjellen kan forklares ved at antall lynnedslag øker med en faktor på $1,4$ pr. grad økning i temperatur (Rolstad m. fl. 2019).



Figur 5. Årlig antall lynantente branner på Østlandet i forhold til gjennomsnittlig sommertemperatur. (Basert på trend-korrigerte data i perioden 1913-1976).

Sammenlignet med brannhyppighet er det langt mindre endringer i trendlinjene for årlig brent areal (Fig. 4). For Sør- og Østlandet samlet faller arealet fra omlag 1000 daa pr. år i perioden 1913-1980 til ca. 400 daa pr. år fra 1980 fram til i dag, en nedgang på 60%. Ser vi på år-til-år variasjon øker brent areal også eksponentielt, med en faktor på 1,4 pr. grad økning i temperatur. For Vestlandet, Midt- og Nord-Norge utgjør branner i produktiv skog en svært liten andel av brannene, men her kan gras- og lyngbranner utgjøre et betydelig areal enkelte år, spesielt tidlig i vekstsesongen. Samlet sett for hele landet utgjør brent areal i produktiv skog 0,0034% (Rolstad m. fl. 2019).

Fra 1950 og fram til i dag har vi hatt 9 store branner som har brent mer enn 1 km² skog: Rendalen (5,0 km²) og Åmot (1,5 km²) i Hedmark i 1959, Elverum (8,0 km²) og Heddal, Telemark (4,0 km²) i 1976, Lisleherad i Telemark (2,2 km²) i 1992, Våler (2,4 km²) og Romedal (1,7 km²) i Hedmark 2006, og Nissedal i Telemark (1,3 km²) og Mykland i Aust-Agder (19,0 km²) i 2008. Totalt har vi hatt omlag en stor brann (>1 km²) pr. 10-år, en hyppighet som synes å ha vært relativt uendret de siste 100 år. Alle disse brannene ble forårsaket av menneskelig aktivitet etter langvarig varmt og tørt vær (brannfareindeks, BFI: 51-246, Fig. 1). Brannforløpene ble i stor grad styrt av sterk og skiftende vind (6-10 m/s) og lokale terrengformer, og i mindre grad av vegetasjon. Alle brannene ble avgrenset og kontrollert i løpet av en til fire dager som følge av innsats i form av tørre (motbranner) eller våte slokningsmetoder.

3.4.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

Klimascenarier for sentrale skogområder i Sør-Norge tilsier at vi må forvente noe høyere temperaturer men også noe mer nedbør de nærmeste 10-årene (Hanssen-Bauer m. fl. 2003, Skaland m. fl. 2019). Fram til nå har imidlertid sommernedbøren vært relativt stabil, og med brannrisikoens følsomhet for temperaturøkning må vi derfor forvente noe hyppigere brannfrekvens. Fordi seinvinter- og vårtemperaturen har økt vesentlig mer enn sommertemperaturen må vi også forvente flere branner tidlig i sesongen. Med dagens kunnskapsgrunnlag er det likevel grunn til å tro at vi vil se en relativt moderat økning i brannhyppighet de nærmeste tiårene. Dette overensstemmer med andre vurderinger gjort i Sverige, Finland og for Nord-Europa (Kilpeläinen m.fl. 2010, Seidl m.fl. 2014, Lehtonen m.fl. 2016, Ou 2017).

3.4.3 Hvilke treslag og aldersklasser er mest utsatt?

På generelt grunnlag kan vi si at furuskogen er minst dobbelt så brennbar som granskogen (Rolstad m.fl. 2019). I eldre furuskog går brannene gjerne som løpebranner langs bakken, men i barblandingsskogen kan grana ofte fungere som "brannstiger" og føre til intensiv kronebrann. Yngre og middelaldrende furuskoger på lav- og røsslyngmark er den mest brennbare skogtypen. Med den fortettingen vi ser i skogen i dag vil det være større risiko for at branner kan utvikle seg til kronebrann. Det er grunn til å tro at omlegging til bestandsskogbruket fra midten av 1950-tallet har gjort skogene mer brannfarlig med større homogene arealer av ungskog sammenlignet med det tidligere teigskogbruket.

3.4.4 Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko

Fra et skogskjøtselssynspunkt er det enkleste forbyggende tiltaket å øke løvandelen i landskapet da løvskog bare i liten grad brenner. Ved å innføre partier og bestand av løv i større sammenhengende barskogsbestand og plantinger, vil en etablere effektive begrensingslinjer og barrierer mot brann (se ellers Nygaard 2019).

3.4.5 Viktige kunnskapshull

Mens det i Sverige og Finland er gjort flere analyser av framtidig brannrisiko (f.eks. Kilpeläinen m.fl. 2010, Lehtonen m.fl. 2016, Ou 2017), mangler dette for Norge. Vi begynner etterhvert å få bedre kunnskap om brannøkologi og brannfrekvens i furudominerte skoger (se Rolstad m.fl. og referanser der). For grandominerte skoglandskap er kunnskapen dårligere. Det er nylig utlyst en stipendiatstilling ved NMBU som sammen med NIBIO skal jobbe med brannøkologi og brannhistorie i granskoger.

3.4.6 Kompetansemiljøer

I Norge finnes kompetansen blant annet ved NMBU og NIBIO.

Life Taiga er nylig avsluttet 5-årig EU-prosjekt der flere länsstyrelser har vært med å utvikle naturvernrensning i svenske skoger (lifetaiga.se). Prosjektgruppen innehar god kompetanse på brannrisiko og brannberedskap (nasjonell projektledare i Västmanlands län, Niclas Bergius: niclas.bergius@lansstyrelsen.se).

Ved SLU-Umeå er Anders Granström en aktiv og sentral person med stort nettverk innen brannøkologi og brannberedskap (www.slu.se/ew-nyheter/2018/7/skogsbrandskunnskap/, Gustafsson m.fl. 2019).

REFERANSER - SKOGBRANN

Gustafsson, L., Berglind, M., Granström, A., Grelle, A., Isacsson, G., Kjellander, P., Larsson, S., Lindh, M., Pettersson, L. B., Strengbom, J., Stridh, B., Sävström, T., Thor, G., Wikars, L. O. & Mikusinski, G. 2019. Rapid ecological response and intensified knowledge accumulation following a north European mega-fire. *Scandinavian Journal of Forest Research* 34: 234-253.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haugen, J. E. & Tveito, O. E. 2003. Temperature and precipitation scenarios for Norway: comparison of results from dynamical and empirical downscaling. *Climate Research* 25: 15-27.

Kasischke, E. S. & Stocks, B. J. (red.). 2000. Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest. Springer, New York, NY, USA. 464 s.

- Kelly, R., Chipman, M. L., Higuera, P. E., Stefanova, I., Brubaker, L. B. & Hu, F. S. 2013. Recent burning of boreal forests exceeds fire regime limits of the past 10,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110: 13055-13060.
- Kilpeläinen, A., Kellomäki, S., Strandman, H. and Venäläinen, A. 2010. Climate change impacts on forest fire potential in boreal conditions in Finland. *Climatic Change* 103: 383-398.
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Peltola, H. and Gregow, H. 2016. Risk of large-scale fires in boreal forests of Finland under changing climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16: 239-253.
- Nygaard, P. H. 2019. Skogbrannbekjempelse og forebyggende skogskjøtsel. I: Sjøgaard, G. et al. 2019. Klimakur 2030 – beskrivelse av utvalgte klimatiltak knyttet til skog. NIBIO Rapport (i arbeid).
- Ou, T. 2017. Droughts and wildfires in Sweden - past variation and future projection. Report from Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), Karlstad, Sweden. 20 s.
- Rolstad, J., Blanck, Y. & Storaunet, K. O. 2017. Fire history in a western Fennoscandian boreal forest as influenced by human land use and climate. *Ecological Monographs* 87: 219-245.
- Rolstad, J., Storaunet, K. O. & Nygaard, P. H. 2019. Sluttrapport fra prosjekt CLIMFIRE. Norges Forskningsråd.
- Seidl, R., Schelhaas, M. J., Rammer, W. and Verkerk, P. J. 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4: 806-810.
- Skaland, R. G., Colleuille, H., Andersen, A. S. H., Mamen, J., Grinde, L., Tajet, H. T. T., Lundstad, E., Sidselrud, L. F., Tunheim, K., Hanssen-Bauer, I., Benestad, R., Heiberg, H. & Hygen, H. O. 2019. Tørkesommeren 2018. METinfo 14/2019, Meteorologisk institutt, Oslo, 79 s.

3.5 Frost og andre klimatiske skader

3.5.1 Dagens status

I Norge forekommer frost i store deler av året. Spesielt i vekstsesongen på sommeren, når frosthendigheten 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. Frostskaider gjør dessuten trærne mer utsatt for sopp- og insektskader. Mest velkjent er frostskaider 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. 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 under inversjonsforhold, når varm luft legger seg over kaldluft som er samlet nede i daler eller lavere partier. 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 vekstavslutningen 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 og 1988. Frosttørke – en kombinasjon av frost og uttørking – gir fra tid til annen sviskader og kraftige skader.

I USA og Canada har det vært et omfattende og økende problem med frostskaider 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 avdøing av trær. Årsakene til disse klimatiske vinterskadene er usikre, men har vært knyttet til såkalte frysetinesekvenser, 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.

3.5.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

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 sviskafer på gran i kyststrøkene i Sørøst-Norge (Solberg & Dalen 2007).

Risikoen for høstfrost, frostbelteskafer og modningsbetingede vinterskafer ventes å avta.

3.5.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografiske områder er mest utsatt?

Det er særlig småplanter og skog under 2 m høyde som rammes av frost, selv om vi i Norge unntaksvis har registrert vårfrostskafer helt opp i 20 m over bakken på gran (Solberg et al. 1994).

3.5.4 Viktige kunnskapshull

Det er usikkert hvordan utviklingen av fenologi og temperatur utvikler seg i forhold til hverandre, og dette har stor betydning. For eksempel har man i Sveits og Tyskland observert at risikoen for vårfrost ikke har endret seg de siste 150 år til tross for at det har vært en økning i temperatur og dermed tidligere vekststart. Årsaken er at tidspunktet for vekststart har endret seg i takt med tidspunktet for siste frost om våren (Vitasse & Rebetez 2018).

3.5.5 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU, Sverige) og University of Eastern Finland (UEF, Finland).

REFERANSER – FROST OG ANDRE KLIMATISKE SKADER

Solberg, S. & Dalen, L.S. 2007. Effekter av klimaendring på skogens helsetilstand, og aktuelle overvåkningsmetoder. Viten fra Skog og landskap 3/07. Norsk institutt for skog og landskap, Ås.

Solberg, S., Venn, K., Solheim, H., Horntvedt, R., Austarå, Ø. & Aamlid, D. 1994. Tilfeller av skogskader i Norge i 1992 og 1993. (Cases of forest damage in Norway 1992 and 1993). Rapport fra Skogforsk 24/94. Skogforsk, Ås.

Vitasse, Y. & Rebetez, M. 2018 Unprecedented risk of spring frost damage in Switzerland and Germany in 2017. *Climatic Change* 149, 233-246.

3.6 Insekter

3.6.1 Dagens status

Under følger en kortfattet beskrivelse av de viktigste skadegjørerne på gran og furu i Norge i dag. Vi fokuserer på insekter som angriper disse to treslagene, siden de har størst økonomisk betydning i Norge.

3.6.1.1 STOR GRANBARKBILLE (*Ips typographus*)

Stor granbarkbille legger vanligvis egg i barken på svekkete, døende eller vindfelte grantrær, men kan også angripe friske trær når forholdene ligger til rette. Under utbrudd kan billen drepe millioner av trær over store områder. Dette gjør den til et av de verste skadeinsektene på skog i Europa (Hlásny et al. 2019). Larvene utvikler seg i trærnes innerbark fra mai og utover sommeren. Den nye generasjonen voksne biller er ferdig utviklet i løpet av sensommeren/høsten og søker etter hvert ned i strølaget der de overvintrer. Stor granbarkbille har dermed en generasjon per år under norske forhold. Utbrudd av stor granbarkbille skjer gjerne når populasjonene er store (for eksempel etter masseformering i store mengder av vindfelte trær) og når motstandskraften hos grantrærne er svekket etter langvarig tørke. Omfang av skader og utbrudd er også større der gran er plantet i suboptimale vegetasjonssoner for dette treslaget. Gran har optimale forhold i fjellområdene i Sentral- og Sør-Europa og i den boreale sonen av Nord-Europa. I tillegg har gran blitt plantet i stort omfang i lavlandet i Sentral-Europa og i de nemorale og borenemorale sonene i Sør-Skandinavia, hvor skadene etter utbrudd i de siste årene har vært enorme (Økland et al. 2015, Hlásny et al. 2019).

3.6.1.2 GRANSNUTEBILLE (*Hylobius abietis*)

Gransnutebille ringbarker og tar livet av små granplanter som plantes ut på hogstflater etter hogst. Larvene utvikler seg i røttene på stubbene til de felte trærne og bruker 2-4 år på å gjennomføre sin utvikling til voksne biller. De voksne billene foretar næringsgnag på små granplanter og andre planter både i eggleggingsperioden og etter at de kommer opp fra bakken etter fullført utvikling. Gransnutebiller finnes i gran- og furuskog over hele Norge og er et kronisk problem overalt der gran plantes. Den regnes derfor som et av de verste skadeinsektene i skogen.

3.6.1.3 STOR OG LITEN MARGBORER (*Tomicus piniperda* og *Tomicus minor*)

Stor og liten margborer er to barkbillearter som legger egg i barken på døende eller sterkt svekkete furutrær og som foretar næringsgnag i skuddene på friske furutrær. Artene ligner mye på hverandre og har omtrent samme leveste, så de behandles derfor ofte samlet. Det er næringsgnaget i de friske furuskuddene som kan forårsake problemer for skogbruket, da kraftige angrep reduserer trærnes barmasse og dermed tilveksten. Stor margborer er vanlig overalt hvor det vokser furu, mens liten margborer har sin hovedutbredelse i lavlandet i Sør-Norge.

3.6.1.4 STRIPET VEDBORER (*Trypodendron lineatum*)

Stripet vedborer lager ganger dypt innover i yteveden i gran og furu. Larvene utvikler seg inne i disse gangene, der de livnærer seg på spesielle sopper som morbillen bringer med seg inn i veden. Utviklingen er ettårig. De voksne billene overvintrer i skogbunnen og flyr og angriper trær fra tidlig på våren (april) og utover sommeren. Billene angriper ikke friske trær, men kan gjøre stor teknisk skade på tømmer og vindfelte trær på grunn av de mørke gangene de etterlater seg. Arten finnes overalt hvor det finnes gran og furu i Norge.

3.6.1.5 RØD FURUBARVEPS (*Neodiprion sertifer*)

Rød furubarveps er utbredt i furuskog nord til Nordland. Larvene spiser nålene til furu på lignende måte som vanlig furubarveps. Ved kraftige angrep kan larvene nesten fullstendig snauete trær over store områder, men dødeligheten er forholdsvis lav (< 3 %). Den viktigste økonomiske effekten av masseangrep er at tilveksten reduseres i flere år etter angrepet.

3.6.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

Klimaendringer vil kunne gi økte skogskader både ved at klimaet direkte påvirker skadeinsektenes overlevelse, reproduksjon og spredning, og ved at klimaet påvirker skadeinsektene indirekte gjennom effekter på deres naturlige fiender, konkurrenter og vertstrærs forsvarsevne.

Direkte klimaeffekter: økte temperaturer vil ofte, og særlig under relativt kjølige norske forhold, være gunstig for skadeinsektene. Dette fordi økte temperaturer gjør at insektene blir mer aktive og utvikler seg raskere fra egg til voksent insekt. Det kan igjen føre til at insekter som i dagens klima gjennomfører en generasjon i løpet av et år kan gjennomføre to generasjoner per år. Dermed kan vi få to perioder i løpet av sommeren der insektene skader trærne. Det beste eksempelet på et slikt scenario er granbarkbillen. Arten har en generasjon i året i Norge i dag, men gjennomfører to generasjoner i året fra sør-Sverige og sørover i Europa. Stigende temperaturer vil også føre til at mange insekter øker sin utbredelse nordover og oppover i høyden. Dette vil mest sannsynlig gjøre at skadeinsekter som i dag har sin hoved-utbredelse sør for Norge vil bevege seg nordover og gi skogskader også i Norge.

Indirekte klimaeffekter: et endret klima vil også kunne påvirke skadeinsektene gjennom å endre trærnes motstandskraft mot insektangrep, eller ved å påvirke skadeinsektenes naturlige fiender (parasitter, predatorer, sykdomsorganismer). Slike indirekte effekter kan øke risikoen for skogskader betraktelig men er vanskelige å forutse fordi de involverer kompliserte samspill mellom flere arter. Ofte vil direkte og indirekte klimaeffekter virke sammen og forsterke hverandre. For eksempel vil et varmere klima trolig favorisere granbarkbillen både direkte, ved å øke billenes aktivitetsnivå, utviklingshastighet og utbredelsesområde, og indirekte, ved å svekke granas motstandskraft mot barkbilleangrep (Økland et al. 2015, Krokene 2015).

Under oppsummerer vi hva vi vet og hva vi tror om hvordan klimaendringer vil kunne påvirke nåværende og potensielt framtidige skadeinsekter på skog i Norge. Vi beskriver også kort hva slags kunnskapsgrunnlag vi har for å gjøre disse vurderingene. Vi tar først for oss de artene som er viktige skadegjørere i Norge i dag (stor granbarkbille, gransnutebille, stripet vedborer, rød furubarveps). Deretter beskriver vi noen arter som kan gjøre mer skade i et fremtidig klima. Dette er både arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade (barskognonne, furuspinner, furumåler, furufly, vanlig furubarveps) og fremmede arter som kan komme til Norge som for eksempel blindpassasjerer med handel og etablere seg hos oss (asiatisk askepraktbille og amerikansk bjørkepraktbille).

3.6.2.1 STOR GRANBARKBILLE (*Ips typographus*)

Klimaeffekter: Med dagens klima synes langvarig tørke (2-3 år) å være en viktig driver for barkbilleutbrudd i boreal granskog, mens tørke bare innenfor en sesong kan gi utslag i de nemorale og boreonemorale sonene (Agder og Vestfold) (Worrel 1983). Kraftigere tørkeperioder i fremtiden kan gjøre gran mer mottakelig for angrep av stor granbarkbille i alle disse sonene. Også store vindfelling er en viktig driver for barkbilleutbrudd (Marini et al. 2017). Noen klimamodeller indikerer at vi vil få kraftigere stormer med flere store vindfelling i fremtiden, men modellanslagene har stor usikkerhet (Benestad 2005). Et varmere klima vil også mest sannsynlig føre til at stor granbarkbille går fra en til to generasjoner i året i Norge (Lange et al. 2006). Det vil kunne gi betydelig økte skogskader. Utbruddene vil trolig også bre seg lengre nordover og oppover i høyden sammenlignet med dagens situasjon. Granas motstandsevne mot angrep vil trolig svekkes, særlig i lavereliggende skog, noe som kan føre til større skogskader. Dersom vi får to eller flere varme og tørre sommere på rad øker risikoen for at billepopulasjonene bygger seg opp slik at vi får barkbilleutbrudd. To sommere på rad med varmt og tørt vær midt på 1970-tallet var en viktig medvirkende årsak til det store barkbilleutbruddet vi hadde den gang.

Kunnskapsgrunnlag: Det er forsket på populasjonsdynamikk hos stor granbarkbille og hvordan høyere temperaturer påvirker artens utviklingshastighet, også under norske og nordiske forhold (Økland & Bjørnstad 2003, 2006, Lange et al. 2006, Jönsson et al. 2011). Det finnes videre noe forskning på indirekte klimaeffekter (endringer i granas forsvarsevne; Horntvedt 1988). Det er dessuten mange eksempler fra Sentral-Europa på at arten allerede nyter godt av et varmere klima, men erfaringene her er ikke uten videre overførbare til barskogssystemene i Skandinavia. I noen områder har nærstående slektninger av stor granbarkbille uventet vært hovedaktør i utbrudd eller har bidratt i utbrudd sammen med stor granbarkbille. Generelt sett har vi et godt kunnskapsgrunnlag for stor

granbarkbille, men våre muligheter til å forutsi skaderisikoen i Norge i et varmere klima er likevel begrenset.

3.6.2.2 GRANSNUTEBILLE (*Hylobius abietis*)

Klimaeffekter: Gransnutebillen vil utvikle seg raskere i et varmere klima, men det er ikke klart hvilken betydning dette vil ha for artens status som skadedyr. En engelsk forskergruppe fant at billene blir større når temperaturen under larveutviklingen øker, noe som tyder på at et varmere klima vil gjøre at gransnutebillen legger flere egg og får bedre vinteroverlevelse (Inward m.fl. 2012). Gransnutebillen er allerede i dag et kronisk problem på nesten alle norske hogstflater og skogeierne må alltid beskytte småplantene før utplanting. Endringer i artens utbredelse eller granplantenes motstandskraft mot angrep som følge av klimaendringer vil derfor trolig ikke ha stor effekt på skaderisikoen.

Kunnskapsgrunnlag: Det finnes ingen forskning på hvordan økte temperaturer vil påvirke arten i Norge. Alt vi kan si om hvordan arten vil reagere på høyere temperaturer bygger derfor på generell biologisk kunnskap. Kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for gransnutebille i et varmere klima må dermed kunne betegnes som mangelfullt.

3.6.2.3 STOR OG LITEN MARGBORER (*Tomicus piniperda* og *Tomicus minor*)

Klimaeffekter: På generelt grunnlag kan vi anta at stor og liten margborer vil kunne gjennomføre to generasjoner i året i Norge i et varmere klima. Dette vil trolig ikke ha særlig betydning for artens status som skadedyr, siden skogbruket allerede tar forholdsregler for å holde margborerpopulasjonene lave. Arten er allerede i dag vidt utbredt i Norge, så en eventuell temperaturdrevet økning av artens utbredelsesområde er lite trolig.

Kunnskapsgrunnlag: Som for gransnutebille anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for stor og liten margborer i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.4 STRIPET VEDBORER (*Trypodendron lineatum*)

Klimaeffekter: På generelt grunnlag kan vi anta at stripet vedborer vil kunne gjennomføre to generasjoner i året i Norge i et varmere klima. Dette vil trolig ikke ha særlig betydning for artens status som skadedyr, siden den allerede i dag flyr og koloniserer tømmer til langt ut i juni. Skogbruket tar derfor allerede nå forholdsregler for å forhindre angrep, slik som ikke å lagre tømmer i skogen gjennom sommeren. Arten er allerede i dag vidt utbredt i Norge, så en eventuell temperaturdrevet økning av artens utbredelsesområde er lite trolig.

Kunnskapsgrunnlag: Som for gransnutebille anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for stripet vedborer i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.5 RØD FURUBARVEPS (*Neodiprion sertifer*):

Klimaeffekter: Det er mulig vanlig furubarveps vil få hyppigere og kraftigere utbrudd i Norge dersom klimaet blir varmere og tørrere. Det er lite sannsynlig at klimaendringer vil øke utviklingshastigheten til rød furubarveps. Arten finnes i dag over det meste av Europa og gjennomfører en generasjon per år i hele sitt utbredelsesområde.

Kunnskapsgrunnlag: Som for gransnutebille anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for rød furubarveps i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.6 BARSKOGNONNE (*Lymantria monacha*)

Barskognonne finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade men er en kjent skadegjører på gran og furu lengre sør i Europa og vil trolig kunne gjøre mer skade her hos oss i et fremtidig klima.

Levevis: Barskognonne finnes i gran- og furuskog i lavlandet på Sør- og Østlandet. Larvene klekker om våren og spiser på nålene utover sommeren. Ved kraftige angrep blir trærne helt eller delvis avnålet og hvis angrepene vedvarer over flere år kan trærne dø. Barskognonnen har aldri hatt masseangrep i

Norge, men regnes ellers i Europa som et av barskogens verste skadedyr. De nærmeste utbruddene har skjedd i Sør-Sverige og Danmark. Grana dør som regel ved 50-80 % bartap, mens furu lettere kan overleve et års fullstendig bartap.

Klimaeffekter: Den mest sannsynlige effekten av et varmere klima er at barskognonnens utbruddsområde beveger seg nordover. Et finsk modellstudium har antydnet at artens utbredelsesområde vil kunne bevege seg 500 km nordover som en følge av klimaendringer (Vanhanen m.fl. 2007). Hvis utbruddsområdet til barskognonnen brer seg nordover vil det gi fare for masseangrep over store deler av Sør-Norge. Dette kan få store konsekvenser for særlig gran.

Kunnskapsgrunnlag: Som for stripet vedborer anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for barskognonne i et varmere klima som mangelfullt. Bortsett fra det finske modellstudiet nevnt over finnes det ingen spesifikke studier av klimaeffekter på denne arten.

3.6.2.7 FURUSPINNER (*Dendrolimus pini*)

Furuspinner finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade men er en kjent skadegjører på furu lengre sør i Europa og vil trolig kunne gjøre mer skade her hos oss i et fremtidig klima.

Levevis: Furuspinner forekommer i furuskog over hele Sør-Norge. Arten bruker to år på å gjennomføre sin livssyklus og larvene spiser på nålene til furu gjennom deler av tre somre før de er ferdig utviklet. Larvene blir etter hvert veldig store (50-60 mm lange) og ved kraftige angrep kan de snauete hele trær slik at de dør. Furuspinner har hatt sporadiske masseangrep i Norge, men det siste angrepet var så langt tilbake som i 1902-1904. Arten er kjent som et alvorlig skadedyr på furu andre steder i Europa.

Klimaeffekter: Den mest sannsynlige effekten av et varmere klima vil trolig være at furuspinnerens utbruddsområde beveger seg nordover, slik at deler av Sør-Norge vil kunne oppleve sporadiske utbrudd. Dette kan skyldes direkte effekter på insektet selv, eller indirekte effekter via furuas motstandskraft mot angrep. Det er også mulig at larveutviklingen vil gå hurtigere, slik at arten går fra 2-årig til 1-årig utvikling.

Kunnskapsgrunnlag: Som for stripet vedborer anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for furuspinner i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.8 FURUMÅLER (*Bupalus piniaria*)

Furumåler finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade men er en kjent skadegjører på furu lengre sør i Europa og vil trolig kunne gjøre mer skade her hos oss i et fremtidig klima.

Levevis: Furumåler er vanlig i furuskog over hele Sør-Norge, der larvene spiser på furunålene gjennom sommeren og høsten. Kraftige angrep kan føre til at trærnes barmasse snauetes, noe som kan gi tredød eller økt risiko for angrep av andre insekter (særlig stor og liten margborer - *Tomicus piniperda* og *T. minor*). Furumåler har aldri hatt masseangrep i Norge, men er kjent som et alvorlig skadedyr på furu andre steder i Europa.

Klimaeffekter: Den mest sannsynlige effekten av et varmere klima vil trolig være at furumålerens utbruddsområde beveger seg nordover, slik at deler av Sør-Norge vil kunne oppleve sporadiske utbrudd. Dette kan skyldes direkte effekter på insektet selv, eller indirekte effekter via furuas motstandskraft mot angrep.

Kunnskapsgrunnlag: som for stripet vedborer anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for furumåler i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.9 FURUFLY (*Panolis flammea*)

Furuflly finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade men er en kjent skadegjører på furu lengre sør i Europa og vil trolig kunne gjøre mer skade her hos oss i et fremtidig klima.

Levevis: Furufløy er utbredt i lavlandet over hele Sør-Norge. Larvene spiser nålene til furu og ved kraftige angrep kan larvene snauete hele trær slik at trærne dør. Kraftig bartap øker også risikoen for angrep av andre insekter, slik som stor og liten margborer (*Tomicus piniperda* og *T. minor*). Furufløy er kjent som et alvorlig skadedyr på furu andre steder i Europa men har aldri hatt masseangrep i Norge.

Klimaeffekter: Den mest sannsynlige effekten av et varmere klima vil trolig være at utbruddsområdet til furufløy beveger seg nordover, slik at deler av Sør-Norge vil kunne oppleve sporadiske utbrudd av furufløy. Dette kan skyldes direkte effekter på insektet selv, eller indirekte effekter via furuas motstandskraft mot angrep. Det er lite trolig at klimaendringer vil øke antall generasjoner som gjennomføres per år.

Kunnskapsgrunnlag: som for stripet vedborer anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for furufløy i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.10 VANLIG FURUBARVEPS (*Diprion pini*)

Vanlig furubarveps finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade men er en kjent skadegjører på furu lengre sør i Europa og vil trolig kunne gjøre mer skade her hos oss i et fremtidig klima.

Levevis: Vanlig furubarveps er utbredt i furuskog nord til Nordland. Larvene spiser nålene til furu på lignende måte som rød furubarveps. Ved kraftige angrep kan larvene snauete hele trær og forårsake høy dødelighet (opptil 75 %). Til tross for navnet er vanlig furubarveps mindre vanlig hos oss enn rød furubarveps og har langt mindre betydning som skadedyr.

Klimaeffekter: Det er mulig vanlig furubarveps vil få hyppigere og kraftigere utbrudd i Norge i et varmere klima. Arten har hatt flere svært omfattende masseangrep i Finland, som har varmere og tørrere somre enn det Norge har i dag.

Kunnskapsgrunnlag: Som for stripet vedborer anses kunnskapsgrunnlaget for å vurdere skaderisikoen for vanlig furubarveps i et varmere klima som mangelfullt.

3.6.2.11 FJELLBJØRKMÅLER (*Epirrita autumnata*)

I tillegg til artene som er nevnt over, som alle angriper gran eller furu, finnes det flere sommerfuglarter som kan gjøre stor skade på bjørkeskogen, særlig i Nord-Norge og i fjellet i Sør-Norge. Den viktigste av disse artene er fjellbjørkmåler.

Levevis: Larvene til fjellbjørkmåler eter på de unge bladene til bjørka om våren. Ved massive angrep kan larvene snauspise trær over flere kvadratkilometer (Jepsen m.fl. 2008). Når det er kraftige angrep flere år på rad kan trærne dø eller få redusert tilveksten betydelig. Siden målerangrepene kan dekke tusenvis av kvadratkilometer kan angrepene få svært store økologiske konsekvenser. De økonomiske konsekvensene av angrepene er mindre, siden fjellbjørkeskogen har liten økonomisk verdi.

Klimaeffekter: Fjellbjørkmåler er en art som profiterer på klimaendringer (Jepsen m.fl. 2008). Blant annet fører mildere vintre til at eggene, som overvintrer eksponert på bjørkekvistene, får bedre overlevelse. Masseforekomster av fjellbjørkmåler og andre målerarter har de siste 10-20 årene opptrådt hyppigere enn tidligere. Masseangrepene har spredd seg lenger innover i landet enn tidligere, til områder som før hadde så kalde vintre at målerne ikke kunne overleve der.

Kunnskapsgrunnlag: Det er forsket en del på hvordan fjellbjørkmåler og andre målerarter påvirkes av klimaendringer. Denne forskningen har hovedsakelig foregått ved Universitetet i Tromsø og NINA (se for eksempel Jepsen m.fl. 2008).

3.6.2.12 ASIATISK ASKEPRAKTBILLE (*Agrilus planipennis*)

Asiatisk askepraktbille er en fremmed art som ikke finnes i Norge i dag men som kan komme hit med importvarer og gjøre stor skade på ask.

Levevis: Asiatisk askepraktbille er som navnet sier en asiatisk bille som lever i ulike askearter. Første gangen den ble funnet utenfor Øst-Asia var i USA i 2002 og den har siden gjort enorm skade på ask i Nord-Amerika. Arten har også etablert seg i Moskva-regionen og sprer seg vestover derfra. Larvene lever i ganger under barken på ask og bruker 1-2 år på å utvikle seg til voksne biller. I sitt opphavsområde angriper arten bare syke trær, men i Nord-Amerika dør friske trær i løpet av 2-3 år etter angrep. Billen har drept flere hundre millioner asketrær i Nord-Amerika. Under spredning i Russland er denne arten primært funnet på rødask (*Fraxinus pennsylvanica*) som er et amerikansk treslag plantet i stort omfang i parker og langs veier, mens det så langt er få observasjoner av angrep på vår hjemlige ask (*F. excelsior*) inne i de russiske skogene.

Klimaeffekter: Når det gjelder risikoen for at asiatisk askepraktbille skal gi skogskader i Norge er ikke klimaendringer den viktigste faktoren. Et varmere klima vil trolig føre til at arten lettere kan etablere seg i Norge, men risikoen for skader påvirkes først og fremst av om arten kommer seg til Norge som blindpassasjer med handel eller sprer seg ved egen hjelp fra Russland.

Kunnskapsgrunnlag: Vi har noe kunnskap om risikoen for at asiatisk askepraktbille skal kunne etablere seg i Norge og hva slags skade den vil kunne forårsake (Flø et al. 2015).

3.6.2.13 AMERIKANSK BJØRKEPRAKTBILLE (*Agrilus anxius*)

Amerikansk bjørkepraktbille er en fremmed art som ikke finnes i Norge i dag men som kan komme hit med for eksempel flisimport og gjøre stor skade på våre bjørkearter (Økland et al. 2012).

Levevis: Amerikansk bjørkepraktbille er hjemmehørende i Nord-Amerika, der den lever i ulike bjørkearter. Den har et lignende levevis som sin slektning asiatisk askepraktbille. Larvene gnager ganger i innerbarken på både friske og svekkete trær. Utviklingstiden er 1-2 år avhengig av klima og vertstrees tilstand. Arten kan ha omfattende utbrudd i Nord-Amerika, men har foreløpig ikke etablert seg utenfor sitt opprinnelige utbredelsesområde.

Klimaeffekter: Som for asiatisk askepraktbille er ikke klimaendringer så viktig når det gjelder risikoen for at amerikansk bjørkepraktbille skal gi skogskader i Norge. Et varmere klima vil trolig føre til at arten lettere kan etablere seg i Norge, men risikoen for skader påvirkes først og fremst av om arten kommer seg til Norge som blindpassasjer med handel. Import av løvtreflis fra Nord-Amerika til Norge har blitt pekt på som den mest sannsynlige innførselsveien. Dersom arten skulle etablere seg i Norge er det sannsynlig at den vil drepe bjørk over store områder, med meget store økonomiske og miljømessige konsekvenser.

Kunnskapsgrunnlag: Vi har noe kunnskap om risikoen for at amerikansk bjørkepraktbille skal kunne etablere seg i Norge (Flø et al. 2015). Vi har også god dokumentasjon på at arten gir høy dødelighet i våre hjemlige bjørkearter (Nielsen et al. 2011).

3.6.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografi er mest utsatt?

3.6.3.1 GRAN

Grana i Norge har i dag bare en alvorlig skadegjører som kan drepe store trær, nemlig granbarkbillen (*Ips typographus*). I tillegg gjør gransnutebillen (*Hylobius abietis*) stor økonomisk skade i plantefelt ved å ringbarke og drepe de unge granplantene som settes ut etter hogst. Store skader av gransnutebille har ikke minst blitt observert på Vestlandet de seinere årene (Hanssen og Fløistad 2017). Norge har i dag ingen alvorlige skadedyr som spiser granas nåler, selv om noen slike defolierende arter er til stede uten å gjøre mye skade. I motsetning til furu tåler ikke grana å miste store deler av barmassen, så eventuelle nye defolierende arter kan potensielt føre til høy dødelighet i gran. Flere defolierende insekter på gran finnes lengre syd i Europa og kan spre seg til Norge med klimaendringer. Det er også mulig at fremmede arter som snauspiser granas nåler vil komme til Norge som importarter, men hvilke arter dette vil være og hva konsekvensene vil bli er vanskelig å anslå. Vi har flere eksempler på at insekter og patogener som har vært nærmest ukjente i sitt opphavsområde

har spredd seg til nye områder der de har gjort enorm skade på skog (slik som asiatisk askepraktbille *Agrilus planipennis* og askeskuddsjuke). Granskogen i lavlandet i SØ Norge vil trolig være mest utsatt for insektskader i et framtidig klima, siden det er i dette området effektene av klimaendringer trolig vil stresse trærne først. Skog på tørkesvak mark vil være aller mest utsatt. Dette er de samme områdene og skogtypene som historisk sett har vært mest utsatt for insektskader.

3.6.3.2 FURU

Furu har ingen alvorlige skadegjørere i Norge i dag som kan drepe større trær i stort antall. Vi har for eksempel ingen barkbiller som kan drepe friske furutrær. Derimot er furu vert for mange defolierende insekter som kan snauspise nålene nesten fullstendig og forårsake til dels store tilveksttap. Men selv massivt bartap vil sjelden føre til at furua dør, siden tærne tåler > 95 % avnåling i enkeltår uten å stryke med. I et framtidig varmere klima forventer vi at flere arter av sommerfugler som spiser furunåler vil kunne ha utbrudd i Norge. Dette er arter som finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade, men som er alvorlige skadegjørere på furu lengre sør i Europa. I et endret klima vil trolig utbruddsområdet til disse artene bre seg nordover og inkludere store deler av Sør-Norge. Som for grana er det også mulig at fremmede arter fra andre deler av verden vil komme til Norge som importarter i forbindelse med handel. Det er vanskelig å anslå hvilke arter dette vil være og hva slags skade de vil kunne gjøre, men en aktuell kandidat er den nord-amerikanske barkbilleren *Dendroctonus ponderosae* («mountain pine beetle»). Fra Nord-Amerika er det kjent at denne arten kan angripe vår hjemlige furu.

3.6.4 Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko

I dette avsnittet tar vi for oss tiltak mot granbarkbiller og gransnutebiller, siden de er blant de viktigste skadeinsektene i norsk skog i dag.

3.6.4.1 GRANBARKBILLE

Siden det er nærmest umulig å bekjempe et barkbilleutbrudd når det først har kommet i gang er forebyggende tiltak som forhindrer utbrudd fra å oppstå helt essensielle. For granbarkbiller innebærer dette å holde billepopulasjonen på et så lavt nivå som mulig og sørge for at skogen er i best mulig helsetilstand slik at trærne kan stå imot angrep. Flere av de forebyggende tiltakene som brukes i dag tar sikte på å forhindre oppformering av skadegjørere ved å begrense tilgangen til ynglemateriale, slik som svekkede eller vindfelte trær. Forebyggende tiltak mot barkbiller er nedfelt i forskrift om bærekraftig skogbruk der det slås fast at skogeier er ansvarlig for at hogst, fremdrift, behandling av hogstavfall, ungsogpleie og andre tiltak gjennomføres slik at det ikke oppstår fare for insektskader eller andre skader på skog. Ferskt bartrevirke (bult, stammer, grove topper) skal transporteres ut av skogen eller gjøres uegnet som ynglemateriale, for eksempel ved barking. Det skal ryddes opp etter stormfelling, tørke, skogbrann og snøbrekk dersom det er fare for oppformering av skadeinsekter. Store vindfelling av gran vil ofte være en utløsende faktor for barkbilleutbrudd, siden store mengder biller kan utvikle seg i vindfallet. Rydding av vindfall i de to første årene etter et stort vindfall kan være avgjørende for å unngå at et utbrudd utvikler seg. Bartrevirke må også transporteres bort fra skogen innen gitte tidsfrister, før skadeinsektene har rukket å klekke fra virket. Flere forebyggende tiltak for å redusere sårbarheten for barkbilleangrep er listet opp i en nylig utgitt rapport fra European Forest Institute (Hlásny mfl. 2019).

3.6.4.2 GRANSNUTEBILLE

Gran- og furuplanter må alltid være behandlet med en form for insektbeskyttelse før utplanting, enten et kjemisk insektmiddel eller en form for mekanisk beskyttelse (for eksempel voks).

Markberedningsmetoder som gir planteplasser med ren mineraljord på toppen har vist seg å være effektivt mot snutebiller, fordi billene ikke liker å oppholde seg på mineraljorda. Forsøk har også vist at skadene blir mindre dersom man har mulighet til å bruke skjermstilling, som gir mer vegetasjon på bakken og dermed mer alternativ mat for billene. Bruk av vitale, store planter bidrar til at de raskt

vokser seg opp i en størrelse hvor de lettere overlever gnagskader. En kombinasjon av ulike tiltak vil gi et bedre resultat enn ett enkelt tiltak alene.

Å vente med planting til stubbene på flata ikke lenger kan brukes som foryngelsessubstrat for billene kan være et alternativ i svært utsatte områder. Da bør man minst vente med planting til etter at snutebillene har svermet den tredje sesongen etter hogst, det vil si fra midten av juni det året. Man må imidlertid være oppmerksom på andre problemer som da kan oppstå, i form av økt konkurranse fra ugras på flata.

3.6.5 Viktige kunnskapshull

Mye av det vi i dag kan si om hvordan skogskadebildet vil utvikle seg i fremtiden bygger på generell kunnskap om skadeinsektenes biologi i Norge og våre nærområder, samt generell kunnskap om hvordan klimaendringer påvirker insekter. Det finnes lite forskning på hvordan klimaet direkte eller indirekte vil påvirke viktige norske skogskadegjørere eller deres vertstrær. Det er således store kunnskapshull både når det gjelder hvordan viktige skadegjørere vil reagere på økende temperaturer og om direkte og indirekte klimaeffekter vil føre til større eller mindre insektproblemer for skogbruket. Mer spesifikk informasjon om kunnskapsstatusen for de viktigste nåværende og framtidige skadegjørerne i norske skoger finnes i kapittel 3.6.2.

3.6.6 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

De viktigste kompetansemiljøene på skogskadegjørere som er aktuelle under norske forhold finner vi i Norge og våre nordiske naboland. Fordi ulike skadegjørere historisk sett har gjort seg mer gjeldende i visse land vil kompetansen ofte være ulikt fordelt. Finland har for eksempel historisk sett hatt lite problemer med granbarkbillen (selv om dette nå er i ferd med å endre seg) og har derfor vendt seg til Norge og Sverige for kunnskap om denne arten. Vanlig furubarveps, og til dels rød furubarveps, har derimot hatt mer omfattende angrep i Finland enn i Norge, og finnene har derfor mer kompetanse på disse artene enn vi har. De viktigste kompetansemiljøene i Finland finnes ved Natural Resources Institute Finland (LUKE) og ulike universiteter (University of Helsinki, University of Eastern Finland). De viktigste kompetansemiljøene i Sverige er Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) og Skogforsk. Skogentomologene ved NIBIO har gode relasjoner til sentrale forskere i Sverige, Finland og andre land og kan raskt trekke veksler på et stort internasjonalt kontaktnett når det gjelder kunnskap om skadeinsekter.

Når det gjelder fremmede arter som eventuelt blir introduserte til Norge med for eksempel handel vil den beste kompetansen på disse artene ofte finnes i artenes opphavsområde. Mange invaderende arter som i de siste årene har gjort store skader i Europa og Nord-Amerika har kommet fra Asia. Kjente invaderende arter er ført opp på internasjonale karantener, og for slike arter finnes det god informasjon om biologi og utbredelse hos Mattilsynet (ved Vitenskapskomiteen for mattrygghet, der en av skogentomologene ved NIBIO er medlem) og EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization, som en annen av skogentomologene ved NIBIO har tette bånd til). Det er verdt å merke seg at mange invaderende arter som har skapt store problemer i nye områder har vært mer eller mindre ukjente i sitt opphavsområde. For slike arter vil det være lite informasjon tilgjengelig.

REFERANSER - INSEKTER

Benestad, R. 2005. Storm Frequencies over Fennoscandia – relevance for bark beetle outbreak. Met.no report 20/2005.

Flø, D., Krokene, P., Økland, B. 2015. Invasion potential of *Agrilus planipennis* and other *Agrilus* beetles in Europe: import pathways of deciduous wood chips and MaxEnt analyses of potential distribution areas. EPPO Bulletin 45 (2), 259–268.

- Hanssen, K.H. og Fløistad, I.S. 2018. Snutebilleskader i Sør-Norge 2017. NIBIO Rapport 167/18, 31 pp.
- Hlásny T., Krokene P., Liebhold A., Montagné-Huck C., Müller J., Qin H., Raffa K., Schelhaas M.-J., Seidl R., Svoboda M., Viiri H. 2019. Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. From Science to Policy 8. European Forest Institute.
- Horntvedt, R. 1988. Resistance of *Picea abies* to *Ips typographus*: tree response to monthly inoculations with *Ophiostoma polonicum*, a beetle transmitted blue-stain fungus. Scandinavian Journal of Forest Research, 3(1-4), 107-114.
- Inward, D. J., Wainhouse, D. & Peace, A. 2012. The effect of temperature on the development and life cycle regulation of the pine weevil *Hyllobius abietis* and the potential impacts of climate change. Agricultural and Forest Entomology, 14: 348-357.
- Jepsen, J. U., Hagen, S. B., Ims, R. A. & Yoccoz, N. G. 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. Journal of Animal Ecology, 77: 257-264.
- Jönsson, A.M., Harding, S., Krokene, P., Lange, H., Lindelöw, Å., Økland, B., Ravn, H.P. & Schroeder, L.M. 2011. Modelling the potential impact of global warming on *Ips typographus* voltinism and reproductive diapause. Climatic Change 109: 695–718.
- Krokene P. 2015. Conifer defense and resistance to bark beetles. In: Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species. Edited by F.E. Vega, Hofstetter R.W. Elsevier Academic Press, San Diego, USA, pp. 177-207.
- Lange, H., Økland, B., Krokene, P. 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. Interjournal for Complex Systems 1648.
- Marini, L., Økland, B., Jönsson, A.M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., Grégoire, J.-C., Hurling, R., Nageleisen, L.M., Netherer, S., Ravn, H.P., Weed, A., Schroeder, M. 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. Ecography 40: 001–010.
- Nielsen, D.G., Muilenburg, V.L., Herms, D.A. 2011. Interspecific variation in resistance of Asian, European, and North American birches (*Betula* spp.) to bronze birch borer (Coleoptera: Buprestidae). Environmental entomology, 40(3), 648-653.
- Vanhanen H., Veteli T.O., Päivinen S., Kellomäki S., Niemelä P. 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. Silva Fennica, 41(4), Article ID 469.
- Worrell, R. 1983. Damage by the spruce bark beetle in south Norway 1970–80: a survey, and factors affecting its occurrence. Medd Norsk Inst Skogforsk, 38, 1–34
- Økland, B., Bjørnstad, O.N. 2003. Synchrony and geographical variation of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) during a non-epidemic period. Population Ecology 45: 213-219.
- Økland, B., Bjørnstad, O.N. 2006. A resource depletion model of forest insect outbreaks. Ecology 87(2): 283-290.
- Økland, B., Haack, R.A., Wilhelmsen, G. 2012. Detection probability of forest pests in current inspection protocols - A case study of the bronze birch borer. Scandinavian Journal of Forest Research 27: 285-297.
- Økland, B., Netherer, S., Marini, L. 2015. The Eurasian spruce bark beetle: The role of climate. The Eurasian spruce bark beetle: the role of climate. Pages 202-219 in Björkman, C., Niemelä, P. (eds.): Climate Change and Insect Pests. CABI Climate Change Series 7, Wallingford UK.

3.7 Smågnagere

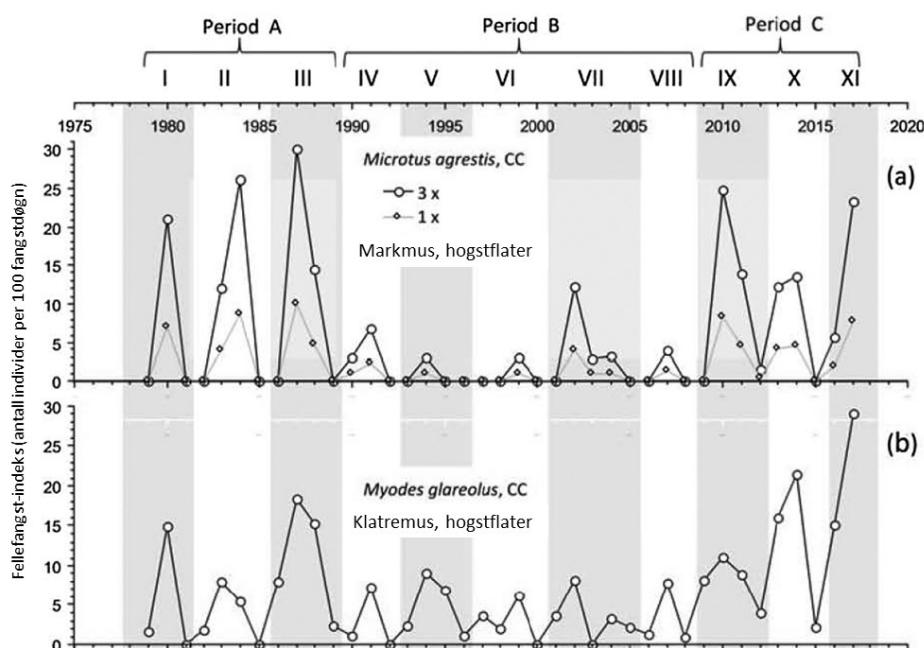
3.7.1 Dagens status

De to artene som i størst grad forårsaker skader på skog i Norge er **klatremus** (*Myodes glareolus*) og særlig **markmus** (*Microtus agrestis*) (Christiansen et al., 1998). Markmus trives i områder med mye gras, slik som på hogstfelt. Klatremus finnes både i eldre skog og på hogstfelt. I tillegg til disse to artene kan **vånd** (*Arvicola amphibius*) gjøre skade i plantefelt på tidligere innmark.

De vanligste formene for skade er barkgnag, samt avbiting av skudd, knopper og småstammer. Vånd kan gnage på røtter. I tillegg kan klatremus og andre frøspisere ete mye frø, men dette vil sjelden bli registrert som en skade. Det er særlig skader i nyanlagte plantefelt som er problemet for skogbruket.

Barkgnag kan gjøre mye skade ved at barken og vekstlaget blir ødelagt. Ringbarking dreper planten, men også mindre skader på barken kan føre til uttørring eller være inngangsport for sopper. Bark er på langt nær førstevalget som føde for musene. Disse skadene finner i hovedsak sted om vinteren under snøen, når andre matkilder er mindre tilgjengelige. Markmus er nesten utelukkende planteeter og gjør mest skade, mens klatremus har en mer variert diett og spiser også frø som den har lagret. Gnaget er sjelden så dypt og konsentrert som markmusas (Christiansen et al., 1998). Klatremus kan klatre opp i plantene og bite av skuddet, mens markmus ikke klatrer. Snø kan imidlertid hjelpe markmusa til å bite av skudd høyt oppe.

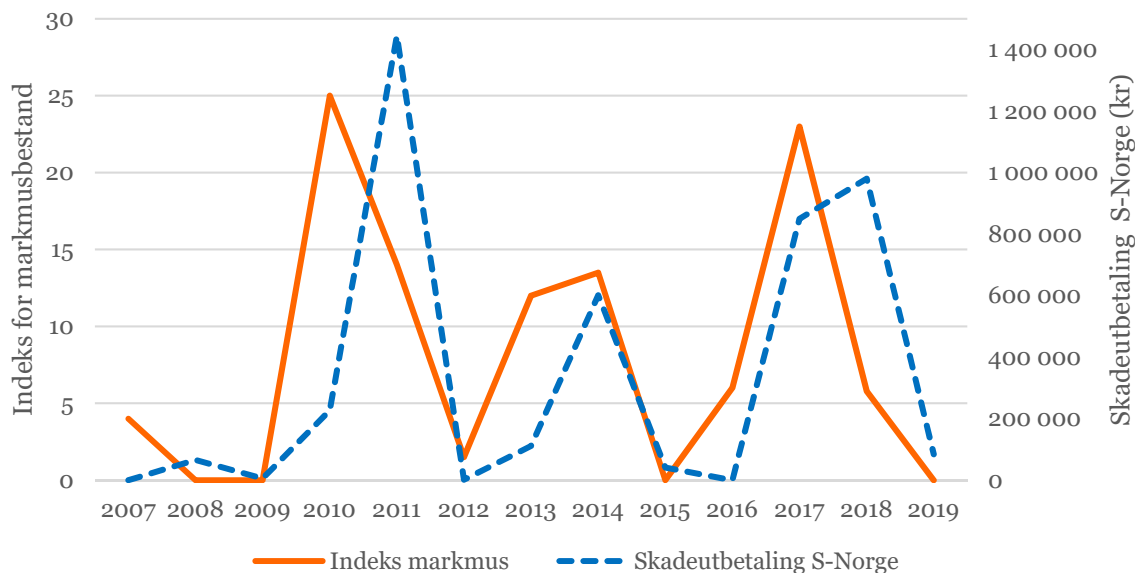
På våre breddegrader varierer bestanden av smågnagere vanligvis sterkt fra år til år. I Nord-Europa avtok amplituden på smågnagersvingningene etter 1980-tallet, men det har skjedd en gjenoppretting av mønsteret de siste åra, blant annet påvist i en lang serie med fellefangst av mus fra Varaldskogen i Kongsvinger (fig. 6) (Wegge and Rolstad, 2018).



Figur 6. Fellefangst av mus på Varaldskogen mellom 1979 og 2017. Antall individer fanget per 100 felledøgn. A) markmus på hogstflater, b) klatremus på hogstflater. Fra Wegge & Rolstad 2018.

Skadeomfanget i skog varierer i takt med svingningene i bestandstørrelsen (Borowski, 2007; Christiansen, 1981; Christiansen et al., 1998). Det største skadeomfanget kommer normalt vinteren

etter at smågnagerbestanden har nådd sitt toppnivå. Det er god overensstemmelse mellom bestandssvingningene påvist i Wegge & Rolstad 2018 og skadestatistikk fra Skogbrand (fig. 7), med en viss forsinkelse for skadeutbetalingene i forhold til toppåret i markmusbestanden.



Figur 7. Indeks for markmusbestand i Varaldskogen i Kongsvinger med oransje linje (Wegge & Rolstad 2018 og Jørund Rolstad (pers. komm.)), og utbetaling for smågnagerskader i Sør-Norge (data fra Skogbrand) med blå stiplet linje (2007-2019).

3.7.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

Klimaendringene forventes å føre til at periodene med snødekke blir kortere, og en lengre og varmere vekstsesong. I noen deler av landet vil mildere klima kunne føre til økt forekomst av vekslende frysing og tining. Disse forholdene vil kunne påvirke både *bestanden* av smågnagere, og *skadene* de forårsaker i plantefelt.

3.7.2.1 Bestandspopulasjonen av smågnagere

Årsakene til svingningene i smågnagerpopulasjonen som vi finner særlig på nordlige breddegrader er fortsatt ikke helt forstått, til tross for at det finnes mye litteratur på dette feltet. Et par faktorer som varierer sterkt gjennom en smågnagersyklus er forplantingssesongens lengde, og tidspunktet for kjønnsmodning. Det finnes flere teorier for å forklare denne variasjonen, og grovt sett kan de deles inn i indre og ytre faktorer:

- *Indre faktorer* er stress i tette bestander (forplantingen påvirkes gjennom stressnivåer og hormonutskillelse), eller forandringer i smågnagerbestandens genetiske sammensetning. Store tettheter favoriserer aggressive individer, som har lav reproduksjonssuksess.
- *Ytre faktorer* er for eksempel sykdom, predatorer, snømengde og endret kvalitet eller mengde av beiteplantene.

Endringer i klimaet kan påvirke noen av disse ytre faktorene, som diskutert under.

Snømengde og -sesong:

Et stabilt snødekke bidrar til å beskytte smågnagerne mot kulde og predatorer, selv om det ikke er en forutsetning for høy vinteroverlevelse. Men områder med en lang og stabil vinter har gjerne kraftigere populasjonstopper enn mildere områder (Andreassen et al. 2019; Selås, 2016).

Gjentatte perioder med frysing og tining kan føre til ising på bakken. Det gir dårligere mattilgang og er negativt for smågnagerne (Aars and Ims, 2002; Korlund and Steen, 2006), selv om effekten ikke er like stor overalt. Populasjoner som lever i lavereliggende områder vil være mer utsatt for ustabile vinterforhold med redusert snødekke og skiftende frysing/tining enn populasjoner opp mot fjellet og ved høye breddegrader.

Endret kvalitet eller mengde av beiteplanter:

Plantene investerer energi og næringsstoffer både i vekst, reproduksjon og forsvarstoffer (fenoler og andre sekundære metabolitter) (Bryant et al., 1983). I tillegg vil fordøyeligheten av plantenes proteiner variere (White 1984). Høye nivåer av forsvarstoffer eller tungt fordøyelige proteiner i bladene betyr at plantene er en dårligere matkilde for smågnagere, og innholdet av disse varierer blant annet med plantenes «stressnivå», næringstilgang og klima. Stress kan for eksempel oppstå etter en frøsetting, hvor plantene bruker mye energi og næringsstoffer til reproduksjon, og dette kan påvirke proteinsammensetningen og gå på bekostning av produksjon/innhold av forsvarstoffer. Et varmere klima kan bety hyppigere frøsetting, men samtidig kan lange, varme somre gi mindre stressreaksjoner hos plantene, fordi de har mer energi til å produsere forsvarstoffer også.

Selås m.fl. (2019) fant at de artene som er reine planteetere, som markmus, ble påvirket negativt av en varm og lang vekstsesong. De mente at dette skyldes at plantene ble mindre fordøyelige på grunn av økt innhold av forsvarstoffer og lavere nitrogeninnhold. Klatremus, som lever av både frø og plantedeler, ble ikke negativt påvirket av dette.

3.7.2.2 Skadene i plantefelt

Mildere vintere med kortere perioder med snødekke vil føre til at tidsperioden smågnagerne tilbringer under snøen også blir kortere. Siden det er i denne perioden skadene i plantefelt oppstår, vil et varmere klima sannsynligvis føre til mindre barkgnag og andre skader. Dersom et varmere klima og endringer i skogskjøtselen fører til reduserte totalpopulasjoner av smågnagere over tid, vil det naturligvis også bidra til færre skader.

3.7.2.3 Skogbehandling og smågnagerbestand

Ikke bare klima, men også endringer i skoglandskapet vil påvirke smågnagerbestanden. Overgangen til bestandsskogbruket etter krigen førte til gode forhold for markmus, som liker grasbundet areal, mens klatremus er mer bundet til gammel skog med høy dekning av blåbær. Smågnagertellingene til Wegge og Rolstad (2018) bekreftet dette ved at markmus kun ble funnet på hogstflater, mens klatremus ble funnet både i eldre naturskog og på hogstflater. Forekomsten av begge arter var lav i yngre produksjonsskog. Flerbrukshensyn på flatene med økt gjensetting av trær (livsløpstrær, kantsoner mm) vil være fordelaktig for klatremus, men ikke for markmus. Data fra Wegge og Rolstad (2018) viser at andelen klatremus i forhold til markmus i toppår har økt de seinere åra. De setter også fram en teori at med en fremtidig økning i arealet med ung produksjonsskog vil totalbestandene av smågnagere generelt synke.

Oppsummert tyder tilgjengelig litteratur på at et varmere klima med mer varierende snødekke og lenger vekstsesong ikke er positivt for bestandsutviklingen av smågnagere, selv om det ikke er konsensus blant forskere om hvilke faktorer som er viktigst for å regulere smågnagerbestanden. En slik negativ påvirkning gjelder særlig for markmus, som er den arten som gir mest skader på plantefelt. Trender i skogskjøtselen trekker i samme retning. En kortere vintersesong vil også gjøre perioden med barkgnag under snøen kortere. Det forventes derfor ikke at skadeomfanget vil øke de kommende åra. Samtidig ser det ut til at mønsteret med kraftige bestandssvingninger fortsetter i Norge inntil videre, slik at vi fortsatt kan forvente skader i plantefelt i smågnagerår.

3.7.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografi er mest utsatt?

Smågnagerskader finner vi som nevnt først og fremst i plantefelt, ved at gnagerne spiser bark, knopper og skudd, eller biter av toppen eller stammen litt lenger ned på småplantene. Det er særlig de minste plantene som kan klippes av. Skader rapporteres sjelden for plantefelt som er over 10 år gamle (Christiansen, 1981). Etter hvert som skogen slutter seg, blir området mindre attraktivt for smågnagere.

Smågnagerne foretrekker bark fra lauvtrær (særlig rogn, osp og selje) foran bartrær. Det største økonomiske skadepotensialet ligger likevel i plantefelt av gran, siden dette treslaget utgjør over 95 % av plantet skogareal i Norge.

Smågnagere kan også spise store mengder frø (Nilson and Hjalten, 2003) og slik sett redusere grunnlaget for god foryngelse etter naturlig frøfall eller såing, men det skal nok mye til at smågnagerne spiser så mye frø at det hindrer foryngelse av våre vanligste treslag. Ved etablering av eik ved direkte såing av nøtter kan smågnagere stedvis utgjøre et stort problem (Madsen & Löf 2005).

Christiansen (1981) undersøkte skader i skog etter smågnagere i perioden 1971-78. Han fant at skadene var vanligst på god bonitet, og at visse områder av landet var mer utsatt enn andre. Det gjaldt i hans undersøkelse a) Troms, Nordland og Nord-Trøndelag, b) Sogn og Fjordane og Hordaland, og c) det sørlige østlandsområdet. Statistikk fra Skogbrand fra 2007-2019 viser at 45 % av skadeutbetalingene etter smågnagerskader gikk til Østlandsfylkene, og så mye som 42 % til Nord-Trøndelag. Vestlandsfylkene sto for 11 % av utbetalingene. Tallene avspeiler nok både skogressursene og smågnagerbestandene i regionene, og også i hvilken grad de forskjellige områdene er dekket av skadeforsikring.

3.7.4 Aktuelle følgeskader

Barkskader kan være inngang for soppskader i plantene. For øvrig er det ikke spesielle følgeskader etter smågnagerskader.

3.7.5 Aktuell skogbehandling for forebygging og reduisering av risiko

Det er gjort få studier av hvordan skogbehandling kan forebygge risiko for smågnagerskader, men i en studie fra Nord-Amerika fant Sullivan & Sullivan (2001) at foryngelsesmetoder som innebar gjensetting av overstandere eller grupper av trær ga mindre markmusbestand enn hogstflater.

3.7.6 Viktige kunnskapshull

Svingningene i smågnagerpopulasjonene er fortsatt ikke fullt ut forstått, til tross for mye forskning på området. Det betyr at effektene av eventuelle endringer i klima heller ikke er endelig klarlagt.

3.7.7 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

Kompetanse på smågnagere finnes i flere forskningsmiljøer i Norge, for eksempel ved Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA, NMBU), NIBIO, NINA, Høgskolen i Innlandet (Evenstad), Universitetet i Tromsø og Universitetet i Oslo. Det er få som har jobbet spesifikt med smågnagerskader i skog de seinere åra, men noe kompetanse finnes hos NIBIO og MINA.

Også internasjonalt finnes det forskningsmiljøer som studerer smågnagere ved mange større universiteter, men ikke så mange som ser spesifikt på sammenhengen mellom smågnagere og skogskader. I British Columbia, Canada, finnes det imidlertid et miljø knyttet til Applied Mammal Research Institute og University of British Columbia.

REFERANSER - SMÅGNAGERE

- Aars, J. & Ims, R.A., 2002. Intrinsic and climatic determinants of population demography: The winter dynamics of tundra voles. *Ecology*, 83: 3449-3456. DOI: 10.2307/3072093.
- Andreassen, H., Johnsen, K., Joncour, B., Neby, M. & Odden, M., 2019. Seasonality shapes the amplitude of vole population dynamics rather than generalist predators. *Oikos*. DOI: 10.1111/oik.06351.
- Borowski, Z., 2007. Damage caused by rodents in Polish forests. *Int. J. Pest Manage.*, 53: 303-310. DOI: 10.1080/09670870701497253.
- Bryant, J.P., Chapin, F.S. & Klein, D.R., 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*, 40: 357-368.
- Christiansen, E., 1981. Smågnagerskader på skogen i Norge 1971-78. Rapport fra Norsk Institutt for skogforskning 11/81: 24.
- Christiansen, E., Bakke, A., Krokene, P., Økland, B. & Austarå, Ø., 1998. Forstzoologi - utvalgte emner, Landbruksbokhandelen, Ås.
- Korslund, L. & Steen, H., 2006. Small rodent winter survival: snow conditions limit access to food resources. *J. Anim. Ecol.*, 75: 156-166. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2005.01031.x.
- Madsen, P. & Löf, M. 2005. Reforestation in southern Scandinavia using direct seeding of oak (*Quercus robur* L.). *Forestry* 78, 55-64.
- Nilson, M.E. & Hjalten, J., 2003. Covering pine-seeds immediately after seeding: effects on seedling emergence and on mortality through seed-predation. *For. Ecol. Manage.*, 176: 449-457.
- Selås, V., 2016. Seventy-five years of masting and rodent population peaks in Norway: Why do wood mice not follow the rules? *Integr. Zool.*, 11: 388-402. DOI: 10.1111/1749-4877.12203.
- Selås, V., Framstad, E., Sonerud, G.A., Wegge, P. & Wiig, O., 2019. Voles and climate in Norway: Is the abundance of herbivorous species inversely related to summer temperature? *Acta Oecol.-Int. J. Ecol.*, 95: 93-99. DOI: 10.1016/j.actao.2018.12.002.
- Sullivan, T.P. & Sullivan, D.S., 2001. Influence of variable retention harvests on forest ecosystems. II. Diversity and population dynamics of small mammals. *Journal of Applied Ecology*, 38: 1234-1252. DOI: 10.1046/j.0021-8901.2001.00674.x.
- Wegge, P. & Rolstad, J., 2018. Cyclic small rodents in boreal forests and the effects of even-aged forest management: Patterns and predictions from a long-term study in southeastern Norway. *For. Ecol. Manage.*, 422: 79-86. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.04.011.
- White, T.C.R. 1984 The abundance of invertebrate herbivores in relation to the availability of nitrogen in stressed food plants. *Oecologia* 63, 90-105.

3.8 Soppskader

3.8.1 Dagens status

Råte påfører skogbruket årlige tap på millioner av kroner. Granskogen er spesielt utsatt, og flere arter er årsak til råte hos dette treslaget. I det etterfølgende vil det bli lagt mest vekt på råtesopper og gran, men andre sopper (og pseudosopper) vil også bli nevnt.

3.8.1.1 GRANROTKJUKE (*Heterobasidion parviporum*) og FURUROTKJUKE (*H. annosum*)

Rotkjukeråten er vår aller viktigste skogsråte. Rotkjuke er spesielt skadelig hos gran. Ved slutthogst var i snitt hvert femte grantre infisert av rotkjuke i en større råteundersøkelse i Norge (Huse mfl. 1994). I granskog på kalkrik mark kan frekvensen til rotkjukeråte være over 60 % (Hietala mfl. 2016a).

I Norge har vi to rotkjukearter som skiller seg fra hverandre i forhold til vertstre og utbredelsesområde. Granrotkjuke (*Heterobasidion parviporum*) går først og fremst på gran og er vanlig i hele det gamle granskogsområdet fra Vest-Agder til Saltfjellet. Fururotkjuke (*H. annosum sensu stricto*) er mest vanlig på furu, men angriper også gran, men også eier, bjørk og andre løvtrær. Den er vanligst på Vestlandet nord til Nordmøre (Fjærli 2016). Den fins også på Sørlandet og Østlandet, men i liten grad.

Fra infiserte røtter sprer disse rotkjukeartene seg mot stammen (fig. 8). Angrepne grantrær kan holde seg i live i mange tiår selv om råtekolonnen i stammen til slutt kan nå 10-12 meter over bakken. Furu forsvarer seg mot angrep av fururotkjuke ved økt kvaeproduksjon i rotsystem og rothals. Siden forsvarsresponsen også forhindrer vanntransporten, kan angrepne furutrær dø innen noen få år. I Sentral- eller Sør-Europa fins det to andre rotkjukearter: edelgranrotkjuke (*H. abietinum*) og amerikansk fururotkjuke (*H. irregulare*). Begge kan infisere gran og den sistnevnte også furu og løvtrær. I tillegg til råte, forårsaker rotkjuke redusert vekst og økt dødelighet og vindfall hos angrepne trær, noe som reduserer totalproduksjon av tømmer. Andelen råte har stor betydning for stabiliteten i bestand, og spesielt angrepne grantrær er utsatt for stormfelling pga. granas overflatiske rotsystem og oppstiging av råte i stammen. I Sverige fant Oliva m.fl. (2008) at forekomst av rotråte forklarte nesten 60 % av vindfellingene i et forsøksfelt.



Figur 8. Fruktlegemer av rotkjuke, utbredelse av rotsystemet til gran og skjematisk fremstilling av spredning av rotkjukearter på nåletrebestand. Mangeårige fruktlegemer, dannet ved basis av stammen eller på røttene til infiserte trær og stubber, produserer sporer når lufttemperaturen er over 0°C. Sporene spres med vind og infiserer ferske stubbesnittflater og sårskader på stamme og røtter til levende trær. Også små stubbediametere utsettes for råteinfeksjon. Etter sporespiring invaderer soppmycelet rotsystemet og sprer smitten videre via rotkontakter mellom nærliggende trær. Jo høyere plantetettheten er av mottakelig treslag, desto forttere spres rotkjuke via rotkontakter. I rotsystemet til stubber kan rotkjuke holde seg i live 30-40 år, og kan spre seg til neste generasjon så snart det dannes rotkontakter mellom infiserte stubber og mottakelige nye planter. Smittespredning mellom tregenerasjoner gjør at uten kontrolltiltak blir angrepne bestand kronisk syke. Foto: Finn Roll-Hansen (fruktlegemer); Ari Hietala (rotsystemer). Tegning: Halvor Solheim.

3.8.1.2 SKOGHONNINGSOPP (*Armillaria borealis*) og HAGEHONNINGSOPP (*A. cepistipes*)

Honningsoppene er viktige nedbrytere på alt slags trevirke og finnes overalt der det er treaktige vekster, ikke bare i skogøkosystemet. I skoglig sammenheng opptrer de nevnte artene likt, selv om skoghonningsoppen er litt vanligere enn hagehonningsopp, og går lengst mot nord. Honningsoppene er ikke veldig aggressive, men etablerer seg på stressede trær, og kan bidra til at de dør. Tørkestress er nevnt som en viktig årsak. Unge trær kan bli drept, og alle treslag er mottakelige, for eksempel både gran og eik. Honningsopp er mest kjent som innråtesopp, særlig på gran. I granbestand er gjerne mellom 5 og 10 % av trærne infisert med honningsoppråte (Huse m.fl. 1994). Den er gjerne vanligere

enn rotkjuke i høyereliggende granskoger, og kan være årsak til råte i opp mot 40 % av råtefellene (Bjørnbæk 2016). Honningsoppene forårsaker gjerne en mørk råte som sjelden går mer enn 2 m opp.

3.8.1.3 TOPPRÅTESOPP (*Stereum sanguinolentum*)

Toppråtesoppen er den viktigste sårskadesoppen i bartrær. Den ble først kjent gjennom studier av råte etter snøbrekk på gran (Lagerberg 1919). Den er først og fremst et problem på gran, men kan også infisere andre bartrær. Den infiserer alle slags sårskader: snøbrekkskader, sårskader etter tynninger (Roll-Hansen og Roll-Hansen 1980; Solheim og Selås 1986) og hjorteskader (Veiberg og Solheim 2000). I forbindelse med snøskader eller andre typer av toppskader (helikopterklipping) regner en med at om diameteren er mindre enn 5 cm så klarer ikke toppråtesoppen å etablere seg. Kunstig kvisting gir små sår og gir ikke mye råte, med unntak av om kvistingen foregår om høsten (Grimsrud og Solheim 1999). Toppråtesoppen fins over hele landet. Soppen sporulerer om høsten og det er først og fremst i sårskader om høsten eller milde vintre at det skjer infeksjoner. Også andre faktorer påvirker infeksjoner. Sårernes størrelse og dybde har stor betydning.

3.8.1.4 FURUAS KNOPP- OG GRENTØRKESOPP (*Gremmeniella abietina*)

Furuas knopp- og grentørkesopp kan gjøre skade på mange forskjellige bartreslekter. Den er viktigst som skadegjører på furu, men gran kan også rammes. Soppen er knyttet til de nordlige barskoger. I Norge har vi to typer av soppen, en som hovedsakelig opptrer i høyereliggende skoger og en som er i lavlandet (Capretti mfl. 2013). I Norge har vi ikke studert utbredelsen av de to typene, men det er gjort både i Finland og Sverige, og der er det overlapp i utbredelsen. Typen som opptrer i høyereliggende områder angriper planter og unge trær. Infeksjonen starter gjerne i små sårskader og utviklingen kan skje under snøen, som hos snøskyttesopper. Den andre typen som er vanlig i lavlandet etablerer seg i siste årsskudd og kan drepe det. Ved sterke angrep kan soppen også drepe hele skudd. Furuas knopp- og grentørkesopp kan også angripe gran, fra planteskolestadiet til yngre trær. På gran er skaden lett gjenkjennelig, den etablerer seg på nest siste årsskudd og ringer skuddet. Det er mange faktorer som har betydning for om soppen klarer å etablere seg. For lavlandstypen er trolig dårlig innvintring en viktig faktor, men værutviklingen gjennom vinteren er trolig utslagsgivende. Det siste året med sterke angrep var i 2001, da skader kunne observeres fra Rogaland via Østfold til langt inn i Sverige (Solheim 2001). Høsten før var mild og regnfull til ut i desember. Etter at det ble normalt kaldt kom det utover vinteren to perioder med svært høye temperaturer og imellom var det svært kaldt. Tidligere var svartfuru mye brukt som leplanting langs kysten. Det gikk ikke lang tid før enn det ble observert sterke skader på leplantinger på Jæren, og etter hvert gikk svartfuru helt ut. Det nyttet ikke å plante svartfuru mer. Årsaken ble etter hvert funnet å være furuas knopp- og grentørkesopp. Dette var det første tilfellet hvor det ble observert slike skader at en måtte slutt å bruke svartfuru (Solheim 2002).

3.8.1.5 ALMESYKESOPPENE (*Ophiostoma novo-ulmi*, *O. ulmi*)

Almesykesoppene er av de verste skadegjørerne på trær. Hvor den kommer fra er ennå ikke klarlagt, men en mener nå at *O. ulmi* kom fra Øst-Asia for mer enn hundre år siden. Etter hvert utviklet det seg en mer aggressiv art som kan drepe store almetrær samme året eller det etterfølgende året etter angrep. Denne aggressive arten kom til Oslo i 1981 og har etter hvert spredd seg sakte rundt Oslofjorden (Solheim mfl. 2011). Den er nå etablert fra Halden, rundt Oslofjorden til Grenland. I Norge har den aggressive arten, *O. novo-ulmi*, trolig utkonkurrert den mindre aggressive arten *O. ulmi*. Soppene blir fraktet med almesplintborere, som foretar et næringsgnag i 2-3 cm tykke grenvinkler, gjerne i helt friske, store trær. I Norge har vi bare en billeart som sprer soppen, liten almesplintborer (*Scolytus laevis*).

3.8.1.6 ASKESKUDDBEGER (*Hymenoscyphus fraxineus*)

Askeskuddbeger er også en introdusert art som trolig kommer fra Øst-Asia (Drenkhan mfl. 2017). Sykdommen ble først registrert i Polen tidlig på 1990-tallet, men årsaken til sykdommen ble først

fastslått mer enn ti på senere. Soppen er ikke så aggressiv som almesykesoppene, men den produserer sporer i store mengder som spres med vinden og kan nå over lange avstander. I Norge ble spredningen av sykdommen langs Vestlandskysten registrert, og en gjennomsnittlig spredningshastighet på ca. 50 km per år ble funnet (Solheim og Hietala 2017). Ask er, som alm, truet av introduserte arter.

3.8.1.7 *Phytophthora*-arter

Av andre skadelige organismer kan det være verdt å kort omtale *Phytophthora*. Arter av denne pseudosoppen har forårsaket stor avgang blant annet i gråor-, bøk- og lercebestand i Europa. Den sprer seg vanligvis gjennom vann og fuktig jord. Derfor er arter som vokser langs vann og vassdrag særlig utsatt. Smitten skjer gjennom trærnes røtter, men også gjennom sår på stammen dersom området er utsatt for flom. Infeksjonen fører til råte i røtter og rothals, slik at ledningsvevet ødelegges og ikke lenger kan forsyne treet med vann. På trær vises symptomene som mørk utflod i barken, glisne kroner, dårlig tilvekst og døde greiner. I Norge er *Phytophthora* påvist i skog på flere trearter; gråor, svartor, bøk, vier, hegg og lønn, med flest forekomster i gråor. Det virker imidlertid som om *Phytophthora*-arter ikke trives særlig godt i sur skogsjord, og de anses p.t. derfor ikke som noen større fare for de viktigste kommersielle treslagene i Norge.

3.8.2 Forventet utvikling av skadeomfanget i fremtidens klima

3.8.2.1 GRANROTKJUKE (*Heterobasidion parviporum*) og FURUROTKJUKE (*H. annosum*)

Det er vanskelig å forutse eksakt hvordan klimaendringer kommer til å påvirke generell skoghelse, siden biotiske skader oppstår som resultat av komplekse og dynamiske interaksjoner mellom trær, miljø og skadegjørere. Det er usikkert hvorvidt nåværende utbredelsesområder til granrotkjuke og fururotkjuke er bestemt av edafiske eller klimatiske faktorer, men en mulig følge av klimaendring er at fururotkjuke sprer seg videre nordover langs kysten i Norge, og at granrotkjuka lettere kan spre seg nord for Saltfjellet. Det kan også være mulig at edelgranrotkjuke og amerikansk fururotkjuke kommer til Norge.

Basert på biologien til rotkjuke og industriens behov for virkestilgang hele året, har man gode grunner til å forvente at omfanget av rotkjukeråte i Norge kommer til å øke, på grunn av videre økning av hogst om sommeren og at klimaendringene gir mildere vintre (Solheim mfl. 2013). Det faktum at rotkjukeråte er enda mer omfattende i varmere strøk, for eksempel i baltiske land, støtter dette. Varmere somre med lengre vekstsesong gjør at perioden med høy sporeproduksjon og gode infeksjonsbetingelser blir lenger. Mildere vintre med lengre snøfrie perioder gir økt smittefare også ved vinterhogst. Dette skyldes utvidet sporuleringssesong hos rotkjuke, og at maskinell drift ved tynninger gir økt frekvens av sårskader på stamme og røtter hos gjenstående trær.

Rotkjukearter har optimal vekst ved 22-24°C, noe som gjenspeiles i at deres aktivitet i granas kjerneved er høyest i den varmeste perioden av sommeren (Hietala mfl. 2015). En generell økning i lufttemperatur kan utvide perioden med gunstig temperatur for råtesoppenes aktivitet og dermed akselerere rotkjukas vednedbryting både over og under bakken, noe som igjen resulterer i raskere spredning av råtesoppen både innen og mellom trær. I følge finske klimaendringsscenarioer kan nedbrytningsaktiviteten til rotkjuke øke mer enn tilveksten pga. temperaturøkning i Sør-Finland (Müller mfl. 2012, 2014). Økt stormaktivitet kan forventes i visse deler av landet, og grantrær angrepet av rotkjuke er spesielt mottakelig for vindskader. Om en ikke klarer opprydding i slike bestand innen 2 år etter storm vil lokalt infeksjonstrykk av rotkjuke øke markant pga. oppformering av fruktlegemer i døde trær. I tillegg vil populasjoner av granbarkbiller øke.

3.8.2.2 SKOGHONNINGSOPP (*Armillaria borealis*) og HAGEHONNINGSOPP (*A. cepistipes*)

Honningsopper er godt etablert i Norge, og kan finnes over hele landet. Det er imidlertid forskjeller mellom artene. I tillegg til de to vanlige artene i Norge, skoghonningsopp og hagehonningsopp, er det registrert to arter til som bare er funnet noen få ganger lengst sør i landet, og som foreløpig betyr lite som skadegjørere (Keča og Solheim 2011). Dessuten er det registrert 3-4 andre arter lengre sør i Europa, hvorav en er kjent fra Danmark. I et endret klima er det trolig at alle artene sprer seg nordover, slik at grensen for utbredelse kommer mye lengre nord enn i dag. Honningsoppene er ikke veldig aggressive, men etablerer seg i stressa trær. Selv om tørkestress er oftest nevnt så kan også andre stressfaktorer påvirke trærne slik at disse soppene lettere etablerer seg.

3.8.2.3 TOPPRÅTESOPP (*Stereum sanguinolentum*)

Toppråtesopp er allestedsnærværende og har etablert seg i granskog over hele landet, også utenfor det naturlige granskogsområdet (på Vestlandet og i Nord-Norge). Alle typer av skader på gran er utsatt for infeksjon, så utviklingen videre må ses i lys av forventet framtidig skadeomfang, som igjen henger sammen med fremtidens klima og framtidige skogskjøtselstiltak. For snøskader som inngangsport forventes dette å gå ned, og at sårbare områder forflytter seg (se avsnitt 3.2.3). Helikopterklipping av trær nær kraftlinjer kan imidlertid øke og gi nye inngangsporter. Klimaendringer kan føre til lengre perioder med muligheter for rotkjukeinfeksjoner på stubber og i sår (3.8.2.1). I sår etter tynningsaktiviteter vil det først og fremst være toppråtesoppen som infiserer.

3.8.2.4 FURUAS KNOPP- OG GRENTØRKESOPP (*Gremmeniella abietina*)

Skader forårsaket av furuas knopp- og grentørkesopp er som vist ovenfor sterkt knyttet til spesielle værforhold. Siden det er så forskjellige oppfatninger om dette er det vanskelig å spå om det blir mer eller mindre skader i framtida.

3.8.2.5 ALMESYKESOPPENE (*Ophiostoma novo-ulmi*, *O. ulmi*)

Almesykesoppene spres med almesplintborere, som er nokså klumsete til fly, så spredningen går ikke så fort. Hvorfor almesyke ikke har spredt seg mer utover i Norge er ikke kjent, men en teori er at almesplintboreren som er i Norge (*Scolytus laevies*) ikke er så effektiv til å spre sykdommen og smitte angrepne trær. Helt sør i Sverige, i Malmö-området, kom den aggressive arten ett par år før den kom til Oslo, og der ble Örup almeskog (et naturreservat) helt rasert for alm etter kort tid. Den viktigste grunnen var trolig at i Örup hadde de *Scolytus scolytus*, en annen almesplintborer som også har vært rikelig tilstede i andre land hvor angrepene har vært sterke (Andebrant og Schlyter 1987). Klimaendringer vil føre til at *Scolytus scolytus* etter hvert kommer til Norge, og da kan det bli mer fart i spredningen og avgangen også hos oss.

3.8.2.6 ASKESKUDDBEGER (*Hymenoscyphus fraxineus*)

Det ser ut til at askeskuddbeger klarer seg godt her i Norge, og den har spredd seg til de fleste deler av Norge med det klimaet vi har. Soppen som har kommet til Europa har liten genetisk diversitet og en studie av europeisk materiale (mye av det samlet i Norge) viser at soppens europeiske populasjon ble etablert av kun to genetisk forskjellige individer (McMullan mfl. 2018). Selv om soppen nå er etablert i Europa og Norge, er det svært viktig å ikke få inn nytt genetisk materiale som kanskje kan gi oss mer aggressive individer i framtida.

3.8.3 Hvilke treslag, aldersklasser og geografi er mest utsatt?

3.8.3.1 GRANROTKJUKE (*Heterobasidion parviporum*) og FURUROTKJUKE (*H. annosum*)

Granrotkjuke går helst på gran, men kan i mer sjeldne tilfeller gå på andre treslag. Det er i midlertid i granskog at den volder mye bry. Den kan der drepe små trær, men det er som innråtesopp den gjør stor skade. Råten er økende med alderen og det er i hogstmoden alder at problemene er størst. Granrotkjuke er vanlig i hele det gamle granskogsområde, fra Vest-Agder til Saltfjellet. Om

granrotkjuka skulle etablere seg nord for Saltfjellet ville det bety store økonomiske tap for granskogbruket der nord.

Fururotkjuka går først og fremst på furu, men den kan etablere seg og gjøre skade på mange forskjellige treslag. Den opptrer svært likt med granrotkjuke. I granplantninger på Vestlandet er det fururotkjuke som opptrer, og i enkelte bestand kan en finne høye råtetall. På furu fins den i store deler av Sør-Norge opp til Nordmøre. Kun en gang er det påvist høye råtetall på furu på Østlandet og det var i Lesja. Klimaendringer kan medføre at fururotkjuke sprer seg nordover til Trøndelag.

3.8.3.2 SKOGHONNINGSOPP (*Armillaria borealis*) og HAGEHONNINGSOPP (*A. cepistipes*)

Selv om honningsopp går på alle mulige slags treaktige vekster, er det om råte i gran at vi har kunnskaper om honningsopper i Norge, og der opptrer begge artene nokså likt. Skoghonningsopp ser ut til være litt vanligere i skog, mens hagehonningsopp er litt vanligere i hager og lignende. Med den kunnskapen vi nå har ser det ut som om skoghonningsopp er den som går lengst mot nord og inn i Finnmark. Hagehonningsopp har vi registrert litt opp i Nordland. Artskart hos Artsdatabanken viser imidlertid at begge soppene er funnet i Finnmark.

3.8.3.3 TOPPRÅTESOPP (*Stereum sanguinolentum*)

Toppråtesoppen går på de fleste bartrær, men i Norge er toppråtesopp vanligst og viktigst på gran. Den kan etablere seg i store og små sår (over rundt 5 cm i diameter). Soppen er vanlig over hele Norge.

3.8.3.4 FURUAS KNOPP- OG GRENTØRKESOPP (*Gremmeniella abietina*)

Det viktigste substratet for furuas knopp- og grentørkesopp er furu. Den kan gå på mange forskjellige furuarter, og på de fleste kan den gjøre stor skade. I høyereliggende strøk blir skader observert jevnlig, mens skader i lavlandet opptrer mer sjeldent. På furu kan skader observeres fra planteskoler opp til eldre trær, og skader kan observeres i hele Norge. Soppen kan også angripe gran. Også der skjer det skader fra planteskolealder, men de blir sjeldnere med alderen. Størst skade skjer i hogstklasse 2.

3.8.3.5 ALMESYKESOPPENE (*Ophiostoma novo-ulmi*, *O. ulmi*)

Som navner sier så angriper almesykesoppene alm. Det er først og fremst litt eldre trær som angripes, men også store individer kan bli angrepet. Foreløpig holder soppen seg i søndre del av Østlandet, fra Romerike/Ringerike i nord til Halden og Grenland i sør.

3.8.3.6 ASKESKUDDBEGER (*Hymenoscyphus fraxineus*)

Askeskuddbeger er som navnet sier knyttet til ask, og bare ask. Soppen går på alle alderstrinn, men planter og yngre trær drepes raskest. Eldre trær kan klare seg i mange år og noen trær er trolig resistente og vil trolig klare seg. Soppen har nådd opp til Fosen i Trøndelag, blant annet ble den funnet i Hindrum askeskog i fjor. Askeskuddbeger trives best i kontinentalt klima med varme somre, og år med høyt infeksjonstrykk opptrer sannsynligvis hyppigere på Østlandet enn på Vestlandet og i Midt-Norge.

3.8.4 Aktuell skogbehandling for forebygging og redusering av risiko

Rotkjuke kan holde seg i live i stubber 30-40 år og spres derfra til neste tregenerasjon etter at det har blitt dannet rotkontakter mellom infiserte stubber og nye planter. Stubbetryting har visst seg å være lite effektiv som kontrolltiltak, siden råtne røtter lett blir liggende i bakken og fungerer som infeksjonskilde (Piri mfl. 2019).

Per i dag er den eneste praktiske måten å bli kvitt rotkjuke på å ha et omløp med motstandsdyktige treslag (Huse mfl. 2013). I råtetsatt granskog med midlere og høy bonitet er treslagsskifte fra gran til løvskog aktuelt siden granrotkjuke, den dominerende rotkjukearten i norske granskoger, først og fremst angriper gran. I råtetsatte granskoger på svakere bonitet er treslagsskifte til furu også aktuelt. Innblanding av furu i bestandet vil også kunne redusere risikoen for råtneinfeksjoner i gran (Lindén

2003). Hysten og Granhus (2018) modellerte sannsynligheten for råte ved hjelp av data samlet av den norske landskogstakseringen, og konkluderte med at råtefrekvensen hos gran er lavere i skog hvor gran vokser sammen med furu. På Vestlandet, med fururotkjuka som dominerende rotkjukeart, kan råteutsatte furubestand og plantet granskog med fordel forynges med bjørk som er mer tolerant mot fururotkjuka enn nåletrær. Tatt i betraktning forskjeller i tømmerpris hos forskjellige treslag og usikkerhet rundt fremtidig prisutvikling, er det ikke enkelt å avgjøre når treslagsskifte lønner seg i råteutsatte bestand, økonomisk sett. Derfor er treslagsskifte i råteutsatte bestand lite praktisert i Norge per i dag. Ved etablering av gran og furu i råteutsatte bestand bør treantallet være mindre enn i bestand med tilsvarende bonitet og med lav råterisiko (Søgaard mfl. 2017). I et endret klima bør antagelig tynning utføres ved et litt tidligere tidspunkt, f.eks. ved 1-3 m lavere overhøyde, og på vindutsatte områder bør dette i enda sterkere grad prioriteres. To små tynningsuttak gir mindre stabilitetssjokk enn en sterk tynning og anbefales.

Fordi det er utfordrende å bli kvitt rotkjuke fra infiserte bestand, burde man satse på forebyggende tiltak. Vinterhogst i perioder med snø og frost i bakken, eller bruk av stubbebehandling (urea, Rotstop) ved sommerhogst og hogst i milde vinterperioder reduserer smitten (f.eks. Huse mfl. 2013). Riktig påført stubbebehandling reduserer smitten med over 90 %. Stubbebehandling mot rotkjuke er mye brukt i Sverige og Finland, da forskning har vist svært gode resultater. I Finland har kontrolltiltak mot rotkjuke vært lovregulert siden 2016, og i Sør- og Sentral-Finland er det blant annet obligatorisk å bruke stubbebehandling ved tynninger og slutthogst av gran- og furubestand utført om sommeren og i milde vinterperioder. Behandlingen skal gjøres hvis stubbediameter er over 10 cm. Selv om råteproblemet er like omfattende i Norge, Sverige og Finland, brukes stubbebehandling i liten grad i Norge (Hietala mfl. 2016b). Siden rotkjuke kan etablere seg også ved svært små stammediameterer, helt ned til 2-3 cm, bør stubbebehandling helst også brukes ved ungsogpleie når det er milde værforhold.

Det fins et stort behov for å utvikle kontrolltiltak og skogbehandlinger som reduserer fremtidige skader i råteutsatte bestand, og som samtidig tillater dyrking av mottakelige treslag. Nøyaktig registrering av den romlige forekomsten av råte i bestand er i utgangspunktet allerede gjennomførbart med posisjoneringssystemer brukt av dagens hogstmaskiner. I Finland har det blitt estimert at planting av gran fire meter fra rotkjukeinfisert stubber reduserer smittefaren ved 80% (Piri 2003). Tilgang til «råtekart» vil kunne tillate planting av løvtre rundt stubber fra infiserte trær, mens man kan plante mottakelige treslag, for eksempel gran, rundt friske stubber.

Honningsopp etablerer seg når verten er stresset. I en granskog uten skjøtsel vil de svakeste trærne begynne å skranke og gi inngang for honningsopp-angrep. Dette vil kunne utvikle seg i feil retning ved at honningsoppen kan gå videre til et annet stresset tre og deretter til et nytt tre som kunne vært et framtidstre. På denne måten kan en få hullete, opprevne bestand. Utføring av flere tynninger kan være det beste i et bestand hvor det er mye honningsopp. Om en tynner én eller flere ganger må en ha i tanke rotkjukeproblemene, så stubbebehandling bør benyttes.

Toppråtesoppen kan gå i alle typer av sårskader på gran. Derfor må en være forsiktig ved tynning, slik at en unngår sår. Sårskader mindre enn en fyrstikkeske blir som regel ikke infisert. Hjort og andre hjortedyr kan ha lite å beite på om vinteren og gnager da gjerne på granbarken. Slike skader er gjerne svært store og risikoen for å få råteinfeksjon er stor (Veiberg og Solheim 2000). Utlekking av høyballer kan kanskje hjelpe i noen tilfeller.

Furuas knopp- grentørkesopp gjør skade om værforholdene er gunstige for soppen. Da skader er knytta til værforhold er det lite en kan gjøre i forhold til denne skadegjøreren på furu. Siden det meste av smitematerialet er på furu (og alltid tilstede der det er furu) kan en hindre smitte ved å plante gran vekk fra furutrær. Dette er selvfølgelig vanskelig i mange tilfeller, men ved dyrking av juletrær bør en tenke på dette.

Almesyke har ikke truet almebestand i Norge slik den har gjort lengre sør i Europa, men selv i våre naboland Sverige og Danmark har de hatt store problemer. I flere land har det i mange år vært forsket på resistent alm, og det ser ut til å gå bra i disse landene. Også i Norge har en begynt å plante sykdomsresistent alm. Om det går bra her hos oss må en ta tiden til hjelp for å finne ut. Det foregår også vaksinerings mot almesykesopp. Et viktig råd er at ingen må ta med seg dødt eller døende almevirke fra Østlandet til Sør- og Vestlandet, hverken til fyringer i hytter eller annen bruk.

Askeskuddbeger herjer over hele Europa hvor det er ask, og det foregår mye forskning om temaet ask og resistens. En genombasert studie av ask ble nylig publisert (Stocks mfl. 2019). De mener at ask vil respondere godt når det gjelder både naturlig seleksjon og foredling mot askeskuddsyke.

3.8.5 Viktige kunnskapshull

Forekomst av fururotkjuka i det gamle granskogsområdet fra Vest-Agder til Saltfjellet er utilstrekkelig kjent. Hos gran oppfører granrotkjuke og fururotkjuke seg likt, og skifte av gran til furu på bestand med fururotkjuke fjerner ikke råteproblemet.

Honningsopp er godt kjent som skadegjører i de fleste europeiske land. I Norge er kjennskapet og kunnskapen om de forskjellige artene mangelfull.

Toppråtesoppen har blitt godt studert både her i landet og mange andre steder, så det er få kunnskapshull. Kunnskapen om soppens opptreden på furu er imidlertid mangelfull.

Soppen *Ophiostoma ulmi* ble første gang funnet i Norge midt på 1960-tallet. *Ophiostoma novo-ulmi* kom hit i 1981. Men hvorfor er ikke almesyke en trussel for alm i Norge? Vår hovedteori er at den almesplintboreren vi har i Norge ikke er så effektiv til å spre sykdommen. Men er det fordi den har med seg så sporer, er det så biller som bringer soppen med seg? Her er det mange spørsmål som trenger svar.

Selv om det finnes enkelte askeindivider som er forholdvis resistente mot askeskuddbeger, er det fremdeles uklart hvorvidt det finnes nok genetisk variasjon blant resistente individer til å tilpasse askepopulasjonen til fremtidige trusler som asiatiske praktbille *Agrius planipennis*, som har drept millioner av asketrær i Nord Amerika. Per i dag har insektet blitt funnet i Moskva, og man frykter nå at arten skal spre seg til Vest-Europa og Norge.

3.8.6 Nordiske og internasjonale kompetansemiljøer

I tillegg til Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO), har Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Naturressursinstituttet (LUKE) i Finland og København Universitet i Danmark lang historikk med forskning på biologi og kontroll av råte forårsaket av gran- og fururotkjuke. Alle disse har også bidratt til vår forståelse om biologi og kontroll av honningsopp og toppråtesopp.

Mest kunnskap om miljøfaktorer som bidrar til epidemier forårsaket av furuas knopp- og grentørkesopp finnes ved LUKE i Finland og SLU i Sverige. Når det gjelder askeskuddsyke har det, i tillegg til NIBIO, vært mye forskning rundt soppens sprednings- og infeksjonsbiologi spesielt i universitetssektoren i mange europeiske land (Sverige, Danmark, Tyskland, Østerrike og Frankrike). Forskningsmiljøer i Storbritannia (John Innes Centre, Kew Royal Botanic Garden) har vært sentrale for vår kunnskap om genetiske faktorer som bidrar til sykdomsresistens hos ask. Angående almesyke, har forskere ved Forestry Commission i England vært viktige når det gjelder kunnskap om sykdomsspredning.

REFERANSER - SOPPSKADER

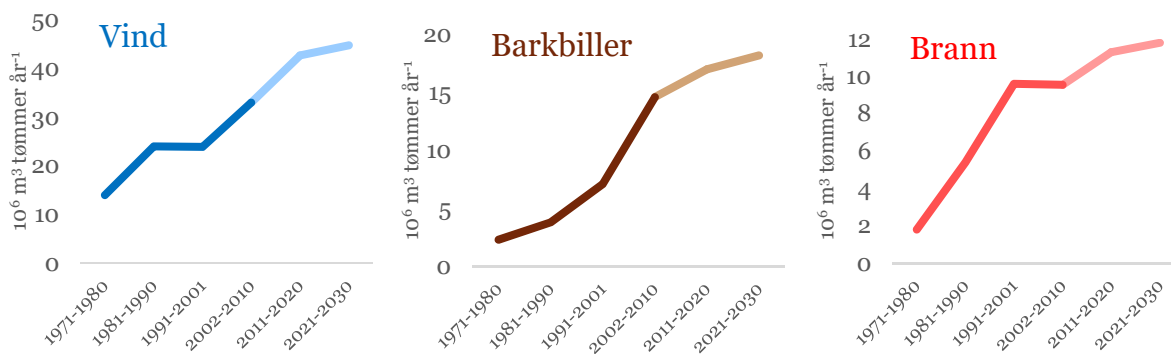
- Anderbrant, O. & Schlyter, F., 1987: Ecology of the Dutch elm disease vectors *Scolytus laevis* and *S. scolytus* in southern Sweden. *J. Appl. Ecol.* 24, 539–550.
- Bjørnbæk, L.H. 2016. Råte i høyereliggende granskog på Østlandet. Masteroppgave NMBU, Institutt for naturforvaltning.
- Bjøre, E.T. 1995. Infeksjon av rotkjuke og effekten av urea ved avstandsregulering av gran. Hovedoppgave. Norges Landbrukshøgskole.
- Capretti, P., Santini, A. & Solheim, H. 2013. Branch and tip blights. I: Gonthier, P. & Nicolotti, G. (eds.): *Infectious forest diseases*, pp. 420-435. CABI, Wallingford. ISBN 978-1-78064-040-2.
- Drenkhan, R., Solheim, H., Bogachevac, A., Riit, T., Adamsona, K., Drenkhan, T., Maatena, T. & Hietala, A.M. 2017. *Hymenoscyphus fraxineus* is a leaf pathogen of *Fraxinus* species in the Russian Far East. *Pl. Pathol.* 66, 490-500. DOI: 10.1111/ppa.12588
- Fjærli, A.F. 2016. Råte i granskog på Nord-Vestlandet. Masteroppgave. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Grimsrud, E. H. & Solheim, H. 1999. Liten fare for råte etter stammekvisting av gran. *Norsk Skogbruk* 45 (2): 24-26.
- Hietala, A.M., Nagy, N.E., Burchardt, E. & Solheim, H. 2016a. Interactions between soil pH, wood heavy metal content and fungal decay at Norway spruce stands. *Applied Soil Ecology* 107:237-243.
- Hietala, A.M., Dörsch, P., Kvaalen, H. & Solheim, H. 2015. Carbon dioxide and methane concentrations in Norway spruce stems infected by white-rot fungi. *Forests* 6: 3304-3325.
- Hietala, A.M., Solheim, H. & Talbot, B. 2016b. Råte i granskog: Det er store forskjeller i kjennskap til forekomst og kontrolltiltak innen norsk skogbruk. *NIBIO POP* 2(28).
- Huse, K.J., Solheim, H., Venn, K., 1994. Råte i gran registrert på stubber etter hogst vinteren 1992. *Rapp. Skogforsk* 23/94, 1–26.
- Huse, K.J., Solheim, H., Pettersen, J. 2013. Råtebekjempelse. *Skogkurs-Resymé* nr. 3 – 2. utgave.
- Hylen, G., & Granhus, A. (2018). A probability model for root and butt rot in *Picea abies* derived from Norwegian national forest inventory data. *Scand J For Res*, 33(7), 657-667.
- Keča, N. & Solheim, H. 2011. Ecology and distribution of *Armillaria* species in Norway. *For Pathol* 41: 120-132
- Lagerberg, T. 1991. Snöbrott och toppröta hos granen. *Meddn St. SkogsförsAnst.* 16: 115-162.
- Lindén, M. 2003. Increment and Yield in Mixed stands with Norway spruce in Southern Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 260. 42 s. + vedlegg.
- Hylen, G., & Granhus, A. (2018). A probability model for root and butt rot in *Picea abies* derived from Norwegian national forest inventory data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33: 657-667.
- McMullan M, Rafiqi M, Kaithakottil G, Clavijo B, Bilham L, Orton E, Percival-Alwyn L, Ward BJ, Edwards A, Saunders DGO, Garcia G, Wright J, Verweij W, Koutsovoulos G, Yoshida K, Hosoya T, Williamson L, Jennings P, Ioos R, Husson C, Hietala AM, Vivian-Smith A, Solheim H, MaClean D, Fosker C, Hall N, Brown JKM, Swarbreck D, Blaxter M, Downie A & Clark MD. 2018. The ash dieback invasion of Europe was founded by two individuals from a native population with huge adaptive potential. *Nature Ecology & Evolution* <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0548-9>.
- Müller MM, Hantula J, Henttonen H, Huitu O, Kaitera J, Matala J, Neuvonen S, Piri T, Sievänen R, Viiri H. & Vuorinen M. 2012. Skogens helse (på finsk). I: Asikainen A, Ilvesniemi H, Sievänen R, Vapaavuori, E & Muhonen, T. (ed.). 2012. *Bioenergi, klimaendring og finsk skog (på finsk)*.

Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240. 211 s. ISBN 978-951-40-2378-1 (pdf). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>.

- Müller, M.M., Sievänen, R., Beuker, E., Meesenburg, H., Kuuskeri, J., Hamberg, L. & Korhonen, K. 2014. Predicting the activity of *Heterobasidion parviporum* on Norway spruce in warming climate from its respiration rate at different temperatures. *Forest Pathology* 44: 325-336.
- Oliva, J., Samils, N., Bendz-Hellgren, M., Stenlid, J. 2008. Urea treatment reduced *Heterobasidion annosum* s.l. root rot. *Forest Ecology and Management* 255: 2876-2882.
- Piri, T. 2003. Silvicultural control of *Heterobasidion* root rot in Norway spruce forests in southern Finland. Regeneration and vitality fertilization of infected stands. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-The Finnish Forest Research Institute, Research Papers, 898, 64.
- Piri, T. Selander, A., Hantula, J. Kuitunen 2019. Identifiering och bekämpning av rotröta. ISBN 978-952-283-057-9, pdf <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/juurikaapaopas-sv.pdf>
- Roll-Hansen, F. & Roll-Hansen, H. 1980. Microorganisms which invade *Picea abies* in seasonal stem wounds. I. General aspects. *Hymenomyces*. *European Journal of Forest Pathology* 10: 321-339.
- Solheim, H. 2001. Mye brun furu i Sørøst-Norge i år. I: Woxholtt, S. (ed). Kontaktkonferansen mellom skogbruket og skogforskningen i Telemark og Aust-Agder. Drangedal 19. – 21. september 2001. Aktuelt fra Skogforskningen 6/01, pp9-11.
- Solheim, H. 2002. Skogpatologi i Norge i vel hundre år. Aktuelt fra skogforskningen 5/02: 4-7.
- Solheim, H., Fossdal, C.G. & Hietala, A.M. 2013. Rotkjuke – granas verste fiende. I: Solheim, H. 2013. Klimavinnerne - blant soppene. Norsk Institutt for Skog og landskap. 15 s.
- Solheim, H. & Selås, P. 1986. Misfarging og mikroflora i ved etter såring av gran. I. Utbredelse etter 2 år. Rapport fra Norsk Institutt for Skogforskning. 7, 16 s.
- Solheim, H., Eriksen, R. & Hietala, A.M. 2011. Dutch Elm disease is currently not a threat to wych elm in Norway. *For. Pathol* 41: 182-188
- Stocks., J.J., Metheringham, C.L., Plumb, W.J., Lee, S.J., Kelly, L.J., Nichols, R.A. & Buggs, R.J.A. 2019. Genomic basis of European ash tree resistance to ash dieback fungus. *Nature Ecology & Evolution*. <https://www.nature.com/articles/s41559-019-1036-6>
- Søgaard, G., Astrup, R., Allen, M., Andreassen, K., Bergseng, E., Fløistad, I.S., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kvaalen, H., Solberg, S., Solheim, H., Steffenrem, A., Stokland, J. & Økland, B. 2017. Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring. NIBIO Rapport Nr. 99. 85 s.
- Veiberg, V. & Solheim, H. 2000. Råte etter hjortegneg på gran i Sunnfjord. Rapport fra skogforskningen 18/00:1-16.

4 Diskusjon og oppsummering

I Europa er det registrert økende omfang av skogskader de siste hundre år, og klimaendringer er identifisert som en viktig driver bak økningene i for eksempel vindskader, barkbilleangrep og skogbranner (Seidl et al. 2011, 2014, fig 9).



Figur 9. Skogskader i Europa 1971-2030. Skader i millioner kubikkmeter tømmer hvert år. OBS: forskjellig skala på y-aksene for de tre figurene. Lysere streker er modellerte prediksjoner. Etter Seidl et al. 2014.

Det blir likevel fremhevet at det er store regionale forskjeller i Europa, med en tendens til økt vekst og produktivitet i nordlige og høyereliggende skogområder, og mer tørkestress og mortalitet i sør (EIP-AGRI 2019, Lindner et al. 2014). I Sentral-Europa blir gran (*P. abies*) ansett for å være en av artene som kommer til å bli mest negativt påvirket av klimaendringene. I Norge viser prognoser likevel at både gran, furu og lauvdominert skog forventes å få økt bonitet fram til år 2100 (Antón-Fernandez et al. 2016). Diaz-Yáñez et al (2016) analyserte skader i norsk skog 1995-2014 basert på data fra Landsskogtakseringen, og konkluderte med at det ikke var omfattende skader på skogen i den perioden, selv om det var tilfeller av sterkere skader lokalt. Beiteskader i ungskog og snø- og vindskader var de hyppigst forekommende skadetyperne.

I rapporten «Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring» (Søgaard et al. 2017) ble det understreket at selv om mye tyder på at utviklingen i klimaet i Norge i sum vil føre til økt produksjonsevne i skogen, så er det usikkerhet omkring dette, særlig knyttet til en mulig økning i tørkestress i slutten av århundret. Samlet sett vil et endret klima sammen med økt import og spredning av biologiske skadegjørere kunne lede til et sterkt endret skadebilde, potensielt med store konsekvenser også for skogen i Norge. Det er vanskelig å forutse hvordan skogens helse vil påvirkes, blant annet fordi enkelthendelser kan gi store utslag for skadebildet. Et eksempel er sommeren 2018, som var svært tørr over store deler av Sør-Norge. Likevel ble det ikke noe stort barkbilleutbrudd i etterkant, slik det for eksempel har blitt i S-Sverige, Tyskland og Tsjekkia. Dette skyldes trolig primært kaldt og fuktig vær under billenes fluktperiode forsommeren 2019 (Økland et al. 2019). To svært tørre somre etter hverandre ville derimot ha gitt både mye kraftigere tørkestress for trærne og gode forhold for granbarkbillene, med stor fare for kraftige angrep.

Nedenfor oppsummeres nåværende og antatt fremtidig situasjon for de forskjellige skadetyperne.

Stormskader

Omfanget av stormskader har økt gjennom mange tiår, og ventes å øke ytterligere framover i tid. Årsakene er en svak økning i frekvensen av episoder med sterk vind, økt nedbørmengde, mer våt jord uten tele vinterstid, samt en akkumulering av skog, med økende gjennomsnittlig høyde og alder på

skogen. Andre forhold som kan bidra til mer stormskader er kraftige nedbørepisoder og mer rotråte. Gran er det treslaget som er mest utsatt for stormskader. Indirekte følgeskader av stormskader er for eksempel barkbilleangrep, sjørøkkskader og økt risiko for erosjon og ras.

Snøskader

Snøskader forårsaker hovedsakelig toppbrekk, men stammebrekk, rotvelt og snøbøy forekommer også ofte. Snøskader skyldes ofte en kombinasjon av snø og vind, og med spesielle temperaturforhold omkring frysepunktet. Det har i de siste årene vært stort omfang av snøskader på skog, og særlig har dette rammet skog i Agder, Telemark og Vestfold. Store mengder nedbør i form av våt snø, til dels etterfulgt av kuldegrader og noe vind, har ført til disse skadene. Det er særlig skog i hogstklasse 3 og 4 som er utsatt for snøskader. Det ventes at skadeomfanget samlet sett vil avta i Norge, men at det vil bli regionale endringer med flytting av skadebildet fra Vestlandet til høyere liggende strøk på Østlandet.

Tørkeskader

Tørkestress og påfølgende angrep av insekter og soppsykdommer kan samlet sett utgjøre de mest omfattende skader på skog i den sørøstlige delen av Norge. Globalt ventes det at klimaendringene vil gi økt intensitet og frekvens av tørke. Det er imidlertid usikkert om sommerklimaet på Østlandet blir tørrere eller fuktigere, fordi både temperatur og nedbørmengde ventes å øke. I Norge er det gran som er mest utsatt for tørkeskader, på grunn av stor barmasse og høyt topp/rot-forhold. Tørken dreper særlig nylig utsatte planter og småtrær, men kan ofte føre til avdøing også av eldre trær, enten direkte eller etter følgeskader.

Skogbrann

Brann er den mest omfattende årsak til naturlige forstyrrelser i boreal barskog. Imidlertid er i dag over 90% av antall branner forårsaket av menneskelig aktivitet og uforsiktighet. Fra 1920-tallet til 70-tallet økte antall branner kraftig, mens det etter 1970 har vært en markert nedgang i brannhyppighet som må forklares med bedre brannberedskap og mer forsiktighet med bruk av åpen ild. Antall branner øker eksponentielt med klimavariabeler som temperatur og tørkeindeks samt brannfareindeks. Hyppigheten av skogbrann har økt langt mer enn arealet av skogbrann de siste 100 år. Klimascenarier for sentrale skogområder i Sør-Norge tilsier at vi må forvente noe høyere temperaturer men også noe mer nedbør de nærmeste tiårene. Fordi seinvinter- og vårtemperaturen har økt vesentlig mer enn sommertemperaturen må vi også forvente flere branner tidlig i sesongen. Med dagens kunnskapsgrunnlag er det likevel grunn til å tro at vi vil se en relativt moderat økning i brannhyppighet i Norge de nærmeste tiårene.

Frost og andre klimatiske skader

Frost i vekstsesongen på sommeren vil kunne gi stor skade. Det er særlig småplanter og skog under 2 m høyde som rammes av frost. Mest velkjent er frostskafer på granskudd om våren og forsommeren. Vanlige typer av klimatiske vinterskader i Norge er frostbelteskader, modningsbetingede vinterskader og frosttørke. 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 sviskafer på gran i kyststrøkene i Sørøst-Norge. Risikoen for høstfrost, frostbelteskader og modningsbetingede vinterskader ventes likevel å avta.

Insektskader

De fire viktigste skadegjørerne på gran og furu i Norge i dag er stor granbarkbille, gransnutebille, stripet vedborer og rød furubarveps. Klimaendringer vil kunne gi økte skogskader både ved at klimaet direkte påvirker skadeinsektenes overlevelse, reproduksjon og spredning, og indirekte gjennom effekter på deres naturlige fiender, konkurrenter og vertstrærs forsvarsevne. Økte temperaturer vil

ofte, og særlig under relativt kjølige norske forhold, være gunstig for skadeinsektene. Dersom det skulle bli kraftigere tørkeperioder i fremtiden kan det gjøre gran mer mottakelig for angrep av stor granbarkbille, og samtidig vil et varmere klima mest sannsynlig føre til at stor granbarkbille går fra en til to generasjoner i året i Norge. Sammen med en mulig svekket motstandsevne hos gran vil dette kunne gi betydelig økte skogskader. Et varmere klima og økt handel og transport av ulike varer øker risikoen for invasjon av nye skadelige insektarter, og gir økt skadepotensiale for arter som allerede finnes i Norge i dag uten å gjøre nevneverdig skade.

Smågnagere

De to artene som i størst grad forårsaker skader på skog i Norge er klatremus og særlig markmus. I tillegg kan vånd gjøre skade i plantefelt på tidligere innmark. Det er hovedsakelig skader i nyanlagte plantefelt, med barknag og avbiting av skudd, som er problemet for skogbruket. På våre breddegrader varierer bestanden av smågnagere vanligvis sterkt fra år til år, og det største skadeomfanget kommer normalt vinteren etter at smågnagerbestanden har nådd sitt toppnivå. Det finnes mange ulike teorier om hva som forårsaker smågnagersvingningene. Det er sannsynlig at fremtidige klimaendringer med kortere perioder med snødekke, vekslende frysing og tining og lengre og varmere vekstsesong ikke er gunstig for smågnagere som markmus. Det forventes derfor ikke at skadeomfanget vil øke de kommende åra. Hittil har vi sett at mønsteret med kraftige bestandssvingninger har fortsatt i Norge, så inntil videre må vi regne med skader i plantefelt i smågnagerår.

Soppskader

Råte påfører skogbruket årlige tap på mange millioner kroner. Granskogen er spesielt utsatt, og flere råtesopper er årsak til råte hos dette treslaget. Granrotkjuke og honningsopper er viktigst av rotråtene. En større råteundersøkelse i Norge på 90-tallet viste at i gjennomsnitt hvert femte grantre var infisert av rotkjuke ved slutthogst. Skadene forårsaket av rotkjuke, honningsopp og toppråtesopp forventes å øke i takt med klimaendringene. Som for insekter vil et varmere klima og økt handel og transport av ulike varer øke risikoen for forekomst av nye skadelige arter, og gi økt skadepotensiale for arter som alt finnes i Norge i dag.

Skjøtsel for reduksjon av skaderisiko

Gjennom å ha minimering av skaderisiko i bakhodet under planlegging og utførelse av skogbehandlingen, har vi mulighet for en viss forebygging av skogskader også i et endret klima. En del grep kan tas i foryngelsesfasen, andre seinere i omløpet. Markberedning og bruk av riktig plantetype og -beskyttelse er viktig for å minimere skader av gransnutebille i plantefelt. Et relativt enkelt tiltak mot smitte av rotkjuke er stubbebehandling ved ungsogpleie og tynning i milde perioder. Å unngå overtette bestand gjennom ungsogpleie og tidlig tynning vil styrke trærne både mot vind, snø og tørkeskader. Viktige forebyggende tiltak mot barkbiller er å rydde opp etter stormfelling, tørke, skogbrann og snøbrekk slik at man unngår oppformering av biller.

På et mer overordnet nivå vil det å øke andelen med lauvbestand i landskapet kunne redusere risikoen for stormskader og brann, og også gi redusert forekomst av rotråte. Mer diversitet av treslag i skogen vil også bidra til å spre risikoen for store utbrudd av ulike skadegjørere, som ofte er artsspesifikke. Å øke lauvandelen er imidlertid et tiltak som i praksis kan være krevende å få til i større skala i dag, fordi barskogbruket er innarbeidet i norsk skogbruk og gran fortsatt vokser godt under dagens klima. Det er mer usikkerhet blant skogeiere og -forvaltere knyttet til produksjon, skjøtsel, avsetningsmuligheter og økonomi i lauvskog enn i barskog.

REFERANSER

Antón-Fernandez, C., Mola-Yudego, B., Dalsgaard, L. & Astrup, R. 2016 Climate-sensitive site index models for Norway. *Canadian Journal of Forest Research* 46, 794-803.

- Díaz-Yáñez, O., Mola-Yudego, B., Eriksen, R. & González-Olabarria, J.R. 2016. Assessment of the Main Natural Disturbances on Norwegian Forest Based on 20 Years of National Inventory. *PLoS One* 11, e0161361.
- EIP-AGRI Focus Group 2019. Forest Practices & Climate Change. Final report January 2019. 36 s.
- Lindner, M., Fitzgerald, J.B., Zimmermann, N.E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E. et al. 2014. Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management* 146, 69-83.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J. & Lexer, M.J. 2011. Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology* 17, 2842-2852.
- Seidl, R., Schelhaas, M.J., Rammer, W. & Verkerk, P.J. 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4, 806-810.
- Søgaard, G., Astrup, R., Allen, M., Andreassen, K., Bergseng, E., Fløistad, I.S., Granhus, A., Hanssen, K. H., Hietala, A., Kvaalen, H., Solberg, S., Solheim, H., Steffenrem, A., Stokland, J. & Økland, B. 2017. Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring. NIBIO Rapport Nr. 99. 85 s.
- Økland, B., Wollebæk, G. & Beachell, A.M. 2019 Granbarkbillen. Registrering av bestandsstørrelsene i 2019. NIBIO Rapport 126, 29 s.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.