

SKOGBRANN - ØKOLOGI OG HISTORIKK

FOREST FIRE - ECOLOGY AND HISTORY

ANNE FOLSTAD HAGEN

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2009



FORORD

Med denne masteroppgaven på 30 studiepoeng, avslutter jeg mitt 5-årige studium i naturforvaltning ved Universitetet for miljø- og biovitenskap.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder Mikael Ohlson for hans uvurderlige engasjement og hjelpsomhet.

Jeg takker også stipendiat Vegard Lien for redaksjonell hjelp.

Ås, 15.mars 2009

Anne Folstad Hagen

SAMMENDRAG

I denne masteroppgaven, som er en litteraturstudie, har jeg sett på grunnleggende skogbrannteori satt i sammenheng med dagens skogsituasjon i Norge, den forskning som er gjort og de metoder som er brukt. Jeg har også sett på skogbrann og suksesjon i forhold til viltøkologi.

Skogbrann er ansett for å ha vært den viktigste forstyrrelsesagenten i boreal barskog gjennom historien, og er av stor viktighet for plantesuksesjon, økosystemets prosesser, landskapsstruktur og biologisk mangfold. Derfor er skogbrannhistorikk en viktig komponent i å beskrive den historiske variasjonen i skogøkosystemer, noe som kan tjene som retningslinjer for skogforvaltning og naturreservatforvaltning.

Det er lagt ned mye arbeid for å dokumentere og forstå historikk og forstyrrelsesdynamikk til tidligere skogbrannregimer, men den romlige fordelingen av branner i et langt tidsperspektiv som dekker hele perioden etter den siste istid er fortsatt lite kjent.

Skogbrann som fenomen er sammensatt av flere viktige faktorer. Brannintensitet, det vil si graden av energiutslipp per lengde av brannfronten, branndybden i de organiske jordlagene, tidsrommet siden forrige brann og når på året brannen opptrer. På landskapsskala er det andre variabler som størrelse på brannen og avstanden til andre branner som er viktige. Sett over en lang tidsperiode og over store landskapsområder definerer disse faktorene det vi kaller et brannregime. Ved å influere på jordsmonn, planter og dyr kan skogbranner føre til omfattende endringer i miljøet og ha betydelige effekter både på økosystemer og økologiske prosesser.

Lyn er den eneste kjente årsaken til naturlig antenning av skogbrann i Norge, og i enkelte tørre år kan det tenne mange branner. Den andre viktige faktoren som tenner skogbrann er mennesket som igjennom historien har brukt skogbrann med hensikter som rydding av skog, forbedring av beite og svedjebruk. I dag er mennesket den desidert viktigste kilden til skogbranner i Norge.

SUMMARY

Forest fire is known to be one of the most important disturbances in the boreal forests through time and of great importance for plant succession, ecological processes, structure of the landscape and biological diversity. The history of forest fire is therefore an important component in describing the historical variation in forest ecosystems which may serve as a guideline for forest management and nature reserve management.

A considerable amount of work has been done to document and understand the history and the dynamics of disturbances within forest fire regimes, but the spatial distribution of fires in a long time perspective that covers the Holocene is still not very well documented.

Forest fire is a phenomenon put together of several important factors. The fire intensity, depth of fire in the organic layers, time elapsed since the last fire and at what time a year the fire occurs. There are on a landscape scale other variables as size of the fire and distance to neighboring fires that are defining for the regime.

By influencing soil, plants and animals forest fires can cause major changes in the environment and ecological processes as structure, function, energy flow, biogeological chemistry and abiotic conditions.

Lightning is the only known cause for natural ignition of forest fires in Norway, and in occasional very dry years this can cause several fires. The other important factor is human itself that through history of time has used fire for land clearing, improvement of grazing land and slash and burn.

INNLEDNING

Temaer som bærekraftige økosystemer og biodiversitet har vært gjengangere i skog- og miljødebatten de siste tiårene. Begrepene er i dag viktige, ikke bare for natur- og miljøvernforkjempere, men også for skogeiere og skogindustrien. Vi ser dette spesielt godt i Skandinavia, hvor aktørene innen skogbruket er ivrige etter å vise deres innsats for bevaring av biologisk mangfold og bærekraftighet.

Bekjempelsen av skogbrann de siste 100-150 årene har blitt så effektivt at uforutsette konsekvenser ved bortfall av denne formen for påvirkning av naturen har kommet stadig mer i fokus.

Skogbrannens betydning som forstyrrelsesregime i økosystemene blir derfor tillagt større vekt både i internasjonal og nasjonal forvaltning etter hvert som kunnskapene om konsekvensene av bekjempelsen har økt. Forvaltningen av skog- og utmarksbranner har utviklet seg til et stort fagområde.

Skogbrann som fagområde ligger i spenningsfeltet mellom grunnleggende økologi, økonomiske forhold som er knyttet til bruken av naturressurser og det politiske grunnlaget i internasjonale konvensjoner og nasjonale regelverk.

Med denne oppgaven, som er en litteraturstudie, ønsker jeg og:

- Gi en generell beskrivelse av skogbrannens betydning i et økologisk perspektiv.
- Peke på noen metodologiske problemer innen skogbrannforskningen.
- Belyse forskjeller mellom naturlig treetablering etter skogbrann og treplanting.
- Diskutere om det er grunnlag for å bruke forvaltningsbrenning i Norge i dag.
- Hvordan skogbrann påvirker beitekvalitet og hjortevelt.

Generell skogbrannteori

Skogbrannregimer er høyst variable med tanke på klima, topografi og vegetasjon (Engelmark 1987; Swetnam 1993; Hellberg et al. 2004; Wallenius et al. 2004). På bakgrunn av dette vil skogbrannhistorikk variere mellom studieområder og ulike tidsperioder (Groven & Niklasson 2005). For eksempel har høyere brannfrekvenser i stor skala blitt rapportert fra Nord-Amerika enn fra det nordlige Europa (Engelmark 1997).

Det er også store variasjoner innen de ulike skogtypene når det gjelder brannpåvirkning. Man kan finne tørre furuskoger (*P. sylvestris*) uten brannpåvirkning (Zackrisson et al. 1995, Engelmark 1997), mens artsrike gransumpskoger som ofte betraktes som brannrefugier med lang kontinuitet, kan vise seg å ha vært påvirket av flere branner de siste 1000 årene (Ohlson et al. 1997).

Ofte favoriseres furu på steder hvor det brenner regelmessig (hovedsaklig områder med tørt, kontinentalt klima som i Nord-Sverige (Engelmark et al. 1994; Engelmark & Hofgaard 1985). På steder i Norden der brann forekommer sjelden eller aldri, for eksempel i høytliggende og oseaniske områder som de skandinaviske fjellene og Midt-Norge, dominerer gran (*Picea abies*) (Engelmark 1997).

Pollenanalyser viser at brann hadde stor innflytelse på naturen langt tidligere enn menneskenes svedjebrenning (Zackrisson & Östlund 1991).

Det er mange variabler som bestemmer hva som utgjør effekten av en skogbrann. På punktskala er intensiteten den viktigste faktoren. Brannintensitet vil si graden av energiutslipp per lengde av brannfronten (Granström 2001), branndybden i de organiske jordlagene, tidsrommet siden forrige brann og når på året brannen opptrer. På landskapsskala er det andre variabler som størrelse på brannen og avstanden til andre branner som er viktige. Sett over en lang tidsperiode og over store landskapsområder definerer disse faktorene det vi kaller et brannregime. Ved å influere på jordsmonn, planter og dyr kan skogbranner føre til omfattende endringer i miljøet og ha betydelige effekter både på økosystemer og økologiske prosesser (Chandler et al. 1983). Effektene omfatter påvirkninger på økosystemets struktur og funksjon, så vel som energistrøm, biogeokjemi (karbon, nitrogen, forsuring) og abiotiske forhold (Granström et al. 1995; Bleken et al. 1997).

Brannhyppigheten er viktig fordi den er bestemmende for suksesjonsalder og sammensetning på stedet når en brann igjen inntreffer. For eksempel vil veldig lange intervaller føre til lokal utryddelse av trearter som har begrenset levetid og som kun reproducerer på brent mark (Noble & Slatyer 1981, Granström 2001, Granström et al. 1995). Derimot har moderate forskjeller i brannintervall (70-100 år) trolig ikke store konsekvenser for økologien. Andre variabler er igjen viktigere, som brannintensiteten som direkte kontrollerer dødelighet hos trærne, og derav igjen artssammensetning og bestandsstruktur i skogen (Granström 2001).

Branner kan påvirke artssammensetning og grunnstoff- og næringssykluser over lang tid, og som økologisk faktor og forstyrrelsesregime kan de betinge alt fra lette påvirkninger til gjennomgripende endringer av hele økosystemer (Bleken et al. 1997, Smith & Smith 2001). Av kortsiktige effekter er eliminasjon av større og mindre samfunn av levende organismer, dannelsen av jordsmonnets pH og økning i dagtemperaturen i de brente områdene (Bleken et al. 1997). Kull har dessuten en rensende virkning på allelopatiske stoffer lagret i jordsmonnet (Zackrisson et al. 1996). Det er snakk om betydelige mengder kull. Ohlson og Tryteruds studie fra 2000 opererer med gjennomsnittlig mengde på 235 kg ha⁻¹ (Ohlson & Tryterud 2000), mens resultater fra Siljan kommune opererer med mengder på 1576 kg ha⁻¹ (Haugmo 2004).

Langsiktige effekter er først og fremst knyttet til endrede suksessjoner av arter og næringsforhold som etterfølger brannene. De kan gjøre seg gjeldende gjennom hele forløpet eller over enda lengre perioder (Bleken et al. 1997).

Brann er viktig for økosystemets næringsdynamikk. De mineraliseringsprosesser og pH-forandringer som hver brann forårsaker har stor betydning for forvitring, nitrogenakkumulering, humustilvekst og andre endringer i jordsmonnet (Zackrisson & Östlund 1991). Mange og høyintensive branner minsker jordens nitrogen- og fosforinnhold, noe som i sin tur medfører at skogøkosystemets produktivitet reduseres (Granström 1991).

Disse effektene har mye å si for faunaen, noe som senere er diskutert under kapittel om viltøkologi.

Brann og klima

Sammenhengen mellom skogtyper, topografi og brannregimer er mye undersøkt (Zackrisson 1977, Engelmark 1984), men nå har også sammenhengen mellom brannregimer og klimatiske endringer kommet i søkelyset.

En studie fra USA viser en klar sammenheng mellom økt antall skogbranner og klimaendringer fra 1970 og fram til i dag (Westerling et al. 2006). Etter 1980 har størrelsen på brannene økt, de varer over lengre tid og sesongen for skogbranner er også forlenget. Man diskuterer om det er menneskeskapte eller klimatiske årsaker som ligger bak disse endringene (Westerling et al. 2006). Den største økningen i skogbranner var i områder som var lite preget av jordbruk og brannfare tilknyttet menneskelig bruk, men som karakteriseres av økte temperaturer for vår- og sommersesonger, samt tidligere snøsmelting (Westerling et al. 2006; Randerson et al. 2006).

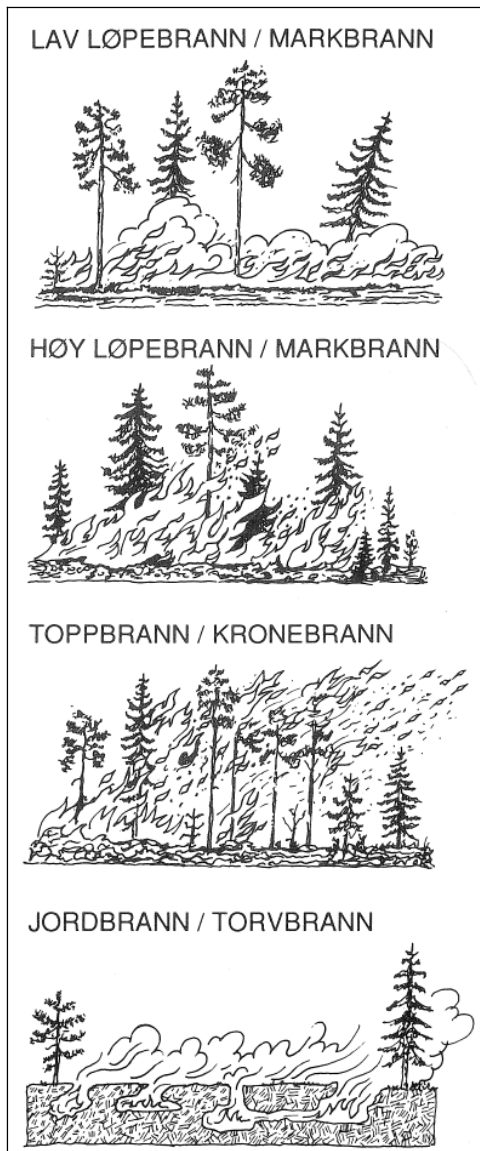
Antenning

Lyn er den eneste kjente årsaken til naturlig antenning av skogbrann i Norge, og i enkelte tørre år kan det tenne mange branner. Den andre viktige faktoren som tenner skogbrann er mennesket, og i dag er mennesket den desidert viktigste årsaken til skogbranner i Norge, mange ganger mer viktig

enn for eksempel lyn (Bleken et al. 1997).

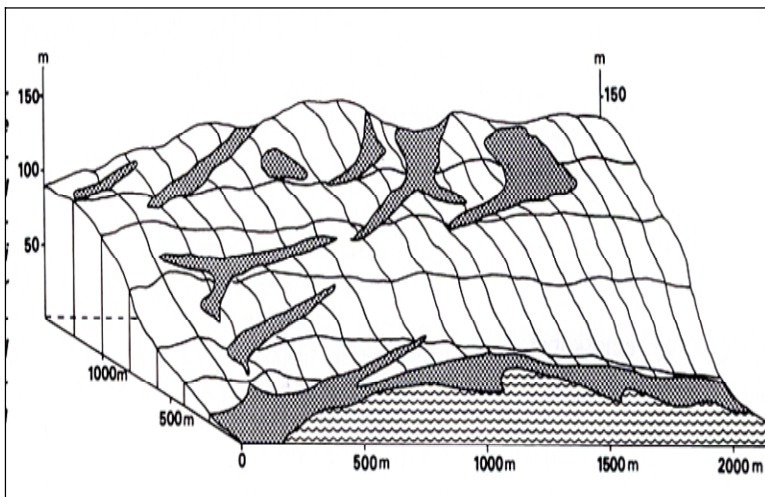
Adferd

Spesielle brannforløp eller brannmønstre kan beskrives som høy og lav løpebrann, motbrann, toppbrann/kronebrann og jordbrann. Se figur 1.



Figur 1, De ulike branners adferd illustrert (Bleken et al. 1997)

Av disse er løpebrann den vanligste formen for skogbrann her til lands. Denne utvikler seg og spres i marksjiktet og er oftest en ren overflatebrann. I mange skandinaviske økosystemer som brenner regelmessig har de fleste branner karakter av løpebranner (Bleken et al. 1997).



Figur 2, Brannrefugier som oppstod ved en omfattende brann i 1901 i Vindelflavan, Sverige. I hovedsak overlevde bestander av gran i søkk i terrenget, utgjørende 25 % av arealet (Zackrisson & Östlund 1991)

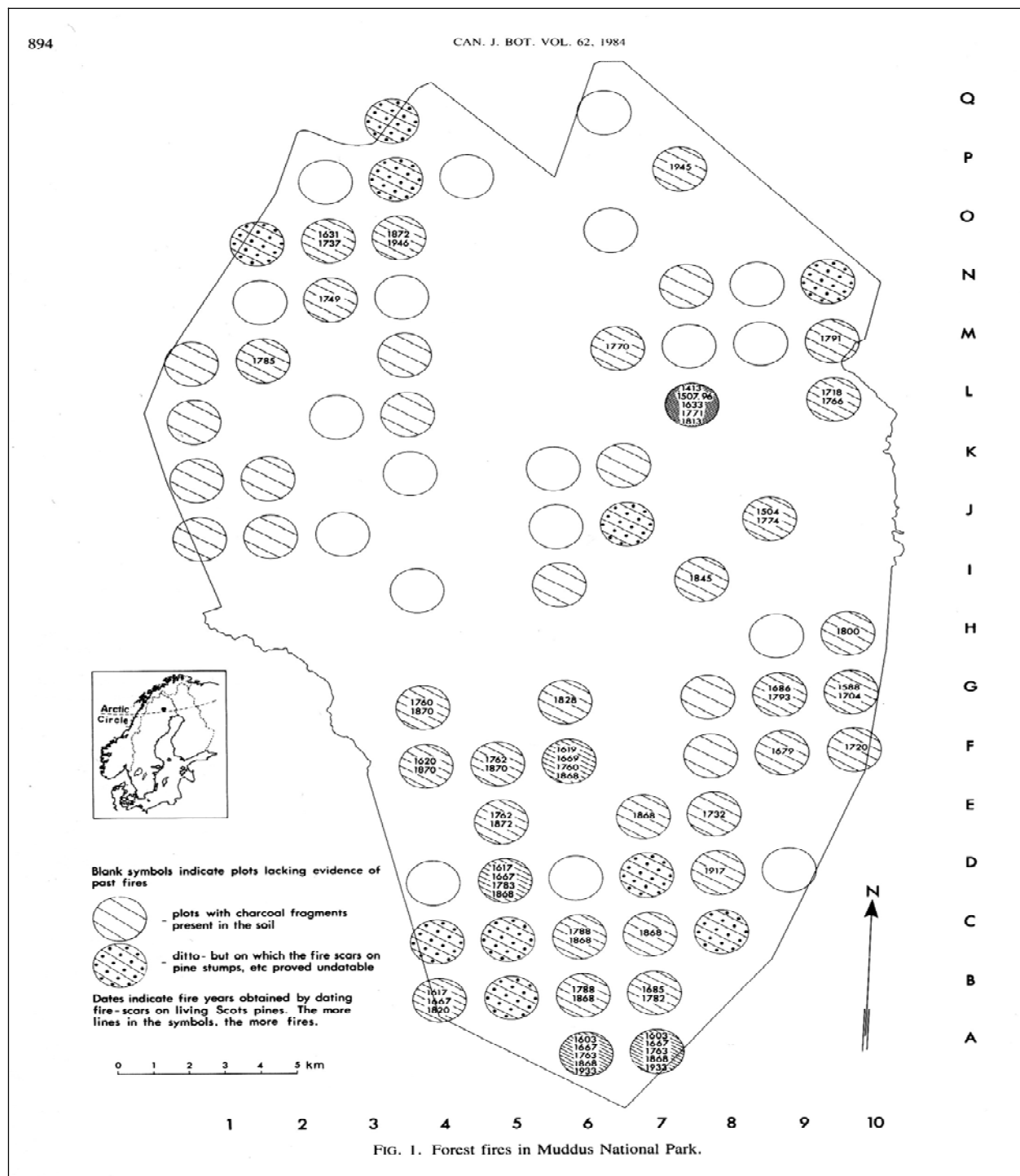
Brannmosaikk

Det er en missoppfatning at de typiske skandinaviske skogbranner har vært store og nesten dekkende i landskapet. Denne typen brannfelt finner man typisk i Canada og Sibir. Hos oss er brannfeltene blitt begrenset av store vassdrag og kupert terreng, se figur 5. Noe som gir ulike brannintervaller i ulikt terreng. Brannfeltenes størrelse er også begrenset av at kronbrann er relativt sjelden hos oss. Ettersom de fleste branner går fram som løpebranner har dette gjort brannbekjempelsen enklere, ved å kunne bruke enkle redskaper som for eksempel spade (Zackrisson & Östlund 1991).

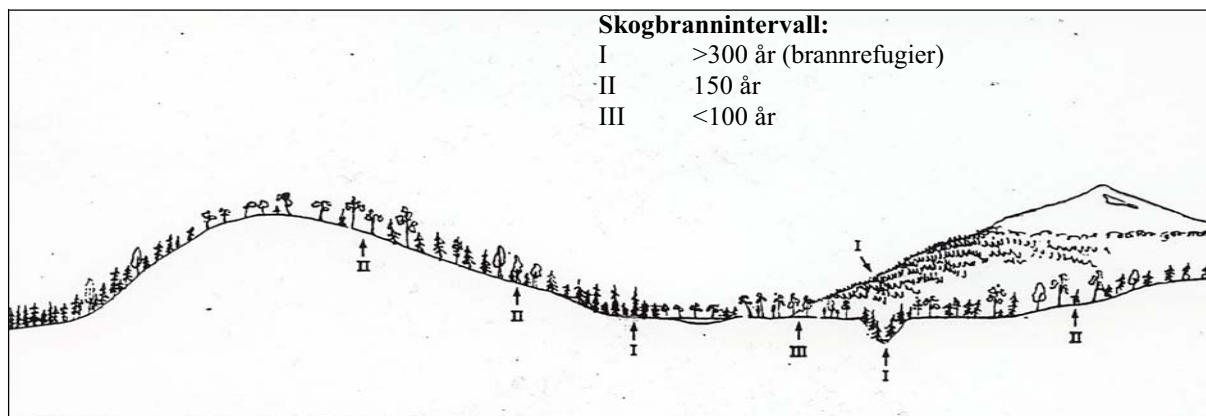


Figur 3, Brannfeltet får ett mosaikkaktig mønster. På de brente områdene vokser løvtrær. Foto: Olle Zackrisson (Zackrisson & Östlund 1991)

En studie fra Muddus nasjonalpark i Nord-Sverige gir et godt bilde på nettopp en slik mosaisk brannhistorie (Engelmark 1984). Spor etter brann i trær og fragmenter av kull i jordlagene ga her bevis for 47 ulike branner mellom 1413 til i dag. Av plottene som ikke hadde spor etter skogbrann i seg var hovedsaklig alle omringet av utstrakt myr (Engelmark 1984). Her kommer mosaikken klart frem og illustrerer viktigheten av å undersøke store nok områder med tilstrekkelig antall plott for å få et godt bilde over historiske skogbranner. Se figur 4.



Figur 4, Muddus nasjonalpark. Tallene i hvert plott indikerer tidspunkt for branner (Engelmark 1984).



Figur 5, Skogbrannintervall (Ohlson, M. 2006)

Stedsspesifikk brannforstyrrelse og artssammensetning

Stedsspesifikk historisk brannforstyrrelse ble avdekket i et svært detaljert studie gjort av Ohlson et al. 2006. Dette studiet er basert på analyser av kullbiter i 246 torvlagrekker og representerte 11 forskjellige granskoglokaliteter. Det interessante her var at alle disse 11 skogene viste seg å ha en sammensetning av plantearter med unike komponenter, noe som ikke kunne forklares ut fra dagens økologiske forhold (Økland et al. 2003). Dette viser en individuell akkumulering av arter i hver skog som skriver seg fra stedsspesifikk historisk brannforstyrrelse. Dette er igjen interessant for viltøkologien, da ulik sammensetning og mengdeforhold av næringsstoffer kan gi utslag i næringsopptaket til viltet (Ohlson & Staaland 2001).

Jordbunnsamfunnets mykorrhizasopp viser overraskende god overlevelse ved skogbrann og disse samfunnene kan ha meget lang kontinuitet til tross for hyppig forekomst av branner (Johnsson et al. 1999).

Skogbrann og kultur

Mennesket har igjennom historien brukt skogbrann med hensikter som rydding av skog, forbedring av beite og svedjebruk (Pyne 1997). Mens vi vet lite om de første jegerfolkenes anvendelse av ild i landskapet, la den senere faste bosettingen og jordbruket grunnlaget for åpning av landskapet, gjennom anlegg av gårder og beiter for en økende bestand av husdyr over stadig større deler av utmarka (Bleken et al. 1997).

Brenning av skog for å gjødsle avlinger i ulike former for svedjebruk er kanskje den aktiviteten som er best kjent (Larsson 1995).

Det er dog ikke bare selve brenningen som har vært av betydning for å forme det norske brannregimet. Kulturbetingede aktiviteter har påvirket brennstoffet i norske skoger ved å ta ut store

virkesmengder. I enkelte områder ble det avvirket så hardt at skogen forsvant (Sandmo 1951). Dette gav mindre tilgjengelig brennstoff og selv lynet som naturlig antenningskilde vil ikke få naturlig forløp (Bleken et al. 1997).

Skogstruktur i Norge

Topografi og klima

En faktor som skogbrann har en viktig rolle i kontroll av boreal skogdynamikk og kan ha innvirkning på når og hvordan nye arter får innpass i naturen (Tryterud 2003).

Med stigende høyde over havet forandres vekstforholdene for trærne. Tresettingen blir glisnere og trehøyden lavere. Skogens produksjonsevne synker og livsvilkårene for skogens organismer forandres. I lågereliggende strøk er jordkvaliteten i hovedsak avgjørende for skogproduksjonen, mens i høgereliggende strøk er klimaet sterkt bestemmende (Larsen & Hylen 2007).

Alder på skogen

En sammenstilling av aldersklasser og arealtyper gir en oversikt over hvordan skogen utvikler seg over tid i de ulike regionene og kan vise trender i skoghistorien (Larsen & Hylen 2007).

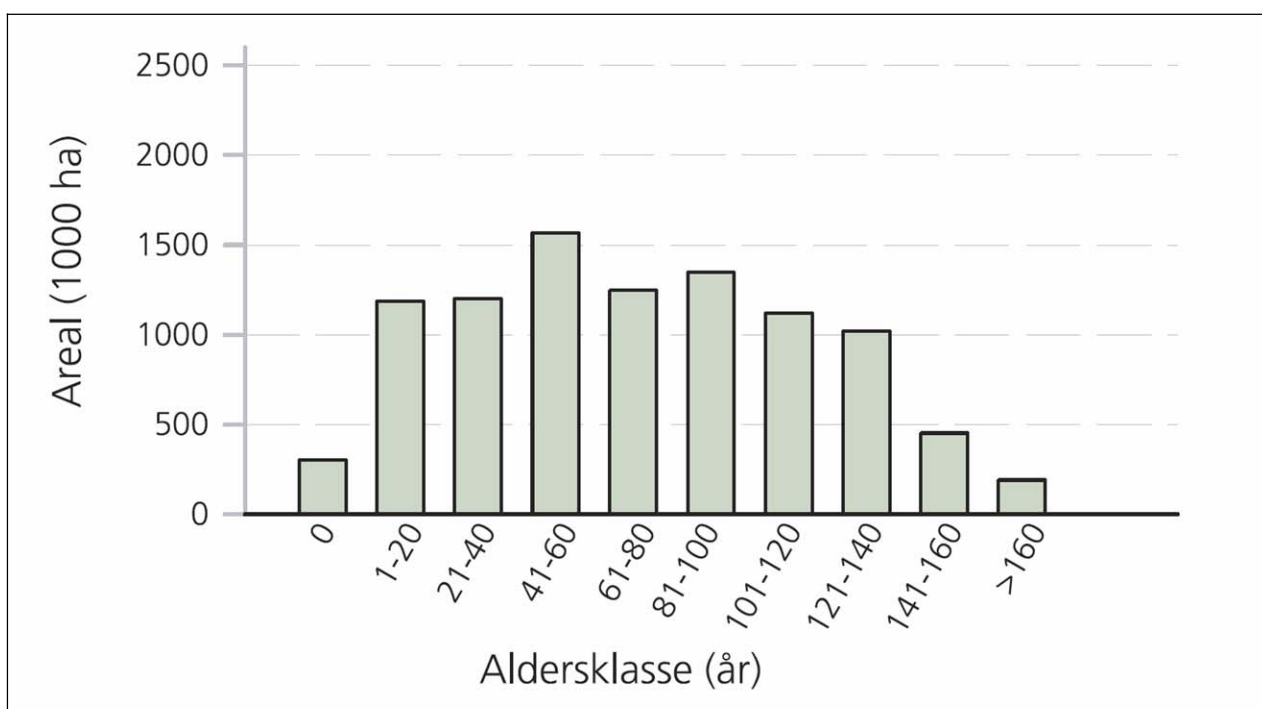
Det aller meste av skogbruksmarka i Norge, 84 %, har lav og middels bonitet. Nordland og Troms har relativt høy andel av skogbruksmark i bonitetsklassene 6 og 8. Andelen av skogbruksmark i de høye bonitetsklassene er størst i vestlandsfylkene. Her er det forholdsvis store areal (33 000 ha) i hogstklasse 3 og 4 på svært høy bonitet, men bare 2 000 ha er i hogstklasse 5. 4 % av alt areal med skogbruksmark er for tiden uten trær (hkl 1), mens 21 % er under forynging. Andelen av skogbruksmarka i hogstklasse 5 for regionen Østfold, Akershus/Oslo og Hedmark er minst sammenlignet med de andre regionene (Larsen & Hylen 2007). Se tabell 1.

På den produktive skogmarka er nær halvparten av skogarealet under 60 år. I uproduktiv skog er det noe høyere andel skog over 80 år enn i produktiv skog. I Trøndelagsfylkene er 46 % av skogen i det produktive skogarealet og 71 % av skogen i det uproduktive skogarealet mer enn 80 år gammel (Larsen & Hylen 2007). Se figur 6.

Hogstklasse <i>Development class</i>	Region													
	Østfold Akershus Oslo Hedmark		Oppland Buskerud Vestfold		Telemark A-Agder V-Agder		Rogaland Hordaland Sogn & F Møre & R		Sør- Trøndelag Nord- Trøndelag		Nordland Troms		Alle	
	Areal	%	Areal	%	Areal	%	Areal	%	Areal	%	Areal	%	Areal	%
1	53	3	59	4	47	4	87	9	16	2	34	3	295	4
2	475	25	326	23	236	21	116	12	269	26	173	17	1595	21
3	449	24	273	19	174	16	180	19	154	15	130	13	1360	18
4	365	19	297	21	216	19	227	24	191	19	256	25	1553	21
5	553	29	487	34	447	40	327	35	387	38	417	41	2618	35
Totalt	1896	100	1442	100	1121	100	937	100	1016	100	1009	100	7420	100

Tabell 1, Skogbruksmark fordelt på hogstklasser (1000 ha) (Larsen & Hysten 2007).

Dagens norske skoger er generelt unge. Det er få gamle trær som kan brukes som et brannhistorisk arkiv, noe som er diskutert videre under kapittel om verktøy og metoder i forskning.



Figur 6, Fordeling av skogarealet på aldersklasser, hele landet (Larsen. & Hysten 2007).

Arter

48 % av alle trær over 5 cm er lauvtrær, 36 % er gran og 17 % er furu. Telemark og Agderfylkene har størst andel store trær, med 6 % av totalt antall over 30 cm i brysthøgdediameter. Dette er for det meste furu, men her er det også 7 mill. lauvtrær over 30 cm. I Nordland og Troms er 78 % av trærne lauvtrær under 20 cm, men også her finnes mange store trær; 2,7 mill. lauvtrær er over 30 cm i brysthøgdediameter, og det finnes også mange store furutrær i disse fylkene – i alt 2,3 mill. som er over 30 cm i brysthøgdediameter (Larsen & Hysten 2007). Se tabell 2.

Treslag <i>Tree species</i>	Dimensjonsklasse <i>Dimension class</i>	Region													
		Østfold Akershus Oslo Hedmark		Oppland Buskerud Vestfold		Telemark A-Agder V-Agder		Rogaland Hordaland Sogn & F Møre & R		Sør- Trøndelag Nord- Trøndelag		Nordland Troms		Alle	
		Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%	Antall	%
Gran <i>Spruce</i>	5–19,9 cm	865	42	623	38	263	23	147	14	424	37	151	12	2473	30
	20–29,9 cm	114	5	109	7	50	4	28	3	66	6	17	1	384	5
	> 30 cm	28	1	33	2	17	1	8	1	22	2	4	0	112	1
Furu <i>Pine</i>	5–19,9 cm	355	17	103	6	155	13	149	14	110	10	57	5	929	11
	20–29,9 cm	106	5	50	3	72	6	49	5	30	3	11	1	318	4
	> 30 cm	30	1	28	2	43	4	27	3	12	1	2	0	142	2
Lauv <i>Deciduous</i>	5–19,9 cm	558	27	651	40	523	45	634	58	476	41	975	78	3817	46
	20–29,9 cm	19	1	21	1	33	3	36	3	14	1	29	2	152	2
	> 30 cm	4	0	3	0	7	1	7	1	2	0	3	0	26	0
Alle		2079	100	1621	100	1163	100	1085	100	1156	100	1249	100	8353	100

Tabell 2, Treantall fordelt på treslag og dimensjonsklasser (mill. Trær) (Larsen. & Hysten 2007).

Gran (*Picea abies* L.) Karst. er en ung art i Norge og spredningen av denne vestover kan ha blitt favorisert av nedgang eller uteblivelse av skogbranner før spredning. Men siden skogbrann kan være med å forbedre frøsettingsforhold og overlevelse av kimplanter, kan lokal etablering av gran faktisk ha blitt lagt til rette for av tidligere skogbranner (Ohlson & Tryterud 1999). Granskog er i dag den dominerende skogtype på produktivt skogareal i Norge, mens det uproduktive arealet er dominert av furu (Larsen & Hysten 2007). Se også figur 9.

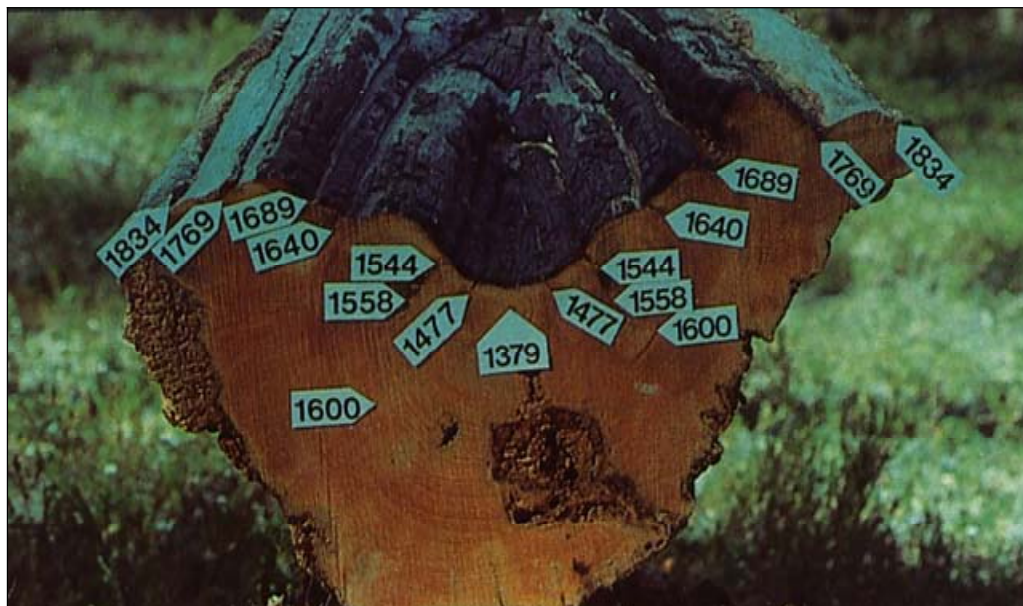
Siden gran normalt skaper tette fuktige klynger, noe som kan gi mindre sommertørke, kan gran gi endrede brannregimer (Ohlson et al 2006). De topografiske og klimatiske gradienten i Norge må også tas hensyn til, forskjellige regioner har sannsynligvis erfart ulik brannhistorikk med tanke på skogbrannndynamikk og etablering av gran (Tryterud 2003).

Verktøy og metoder i forskning

Et verktøy i arbeidet med å utvikle et bærekraftig skogbruk er forskning på skoghistorikk og historisk dynamikk i skog, og naturskog (Ohlson 1996; Ohlson et al.1997; Hanski & Hammond, 1995).

Forsøk på å beskrive tidligere tiders brannregimer in Fennoskandia er relativt få og har vært konsentrert på en variabel; hyppigheten.(Zackrisson 1977; Granström 2001). Mye arbeid er lagt ned for å dokumentere og forstå historikk og forstyrrelsesdynamikk til tidligere skogbrannregimer (Fries et al. 1997), men den romlige fordelingen av branner i flertusenårige tidsperspektiver (Holocen) er fortsatt lite kjent (Ohlson et al. 2006).

Metodene som oftest har vært brukt er å se på brannskader i gamle furutrær som kan bli opptil 1000 år gamle og som normalt er lett å aldersbestemme ved hjelp av årringer (dendrokronologi). Se figur 7. I en skogbrann vil veden bli skadet, men denne skaden blir igjen overgrodd/dekket av ny bark og ved. Ved å telle årringene tilbake til skaden kan man med ganske god sikkerhet si når brannen fant sted. Man kan også finne spor etter brannskader i stubber (Engelmark, O. 1983).

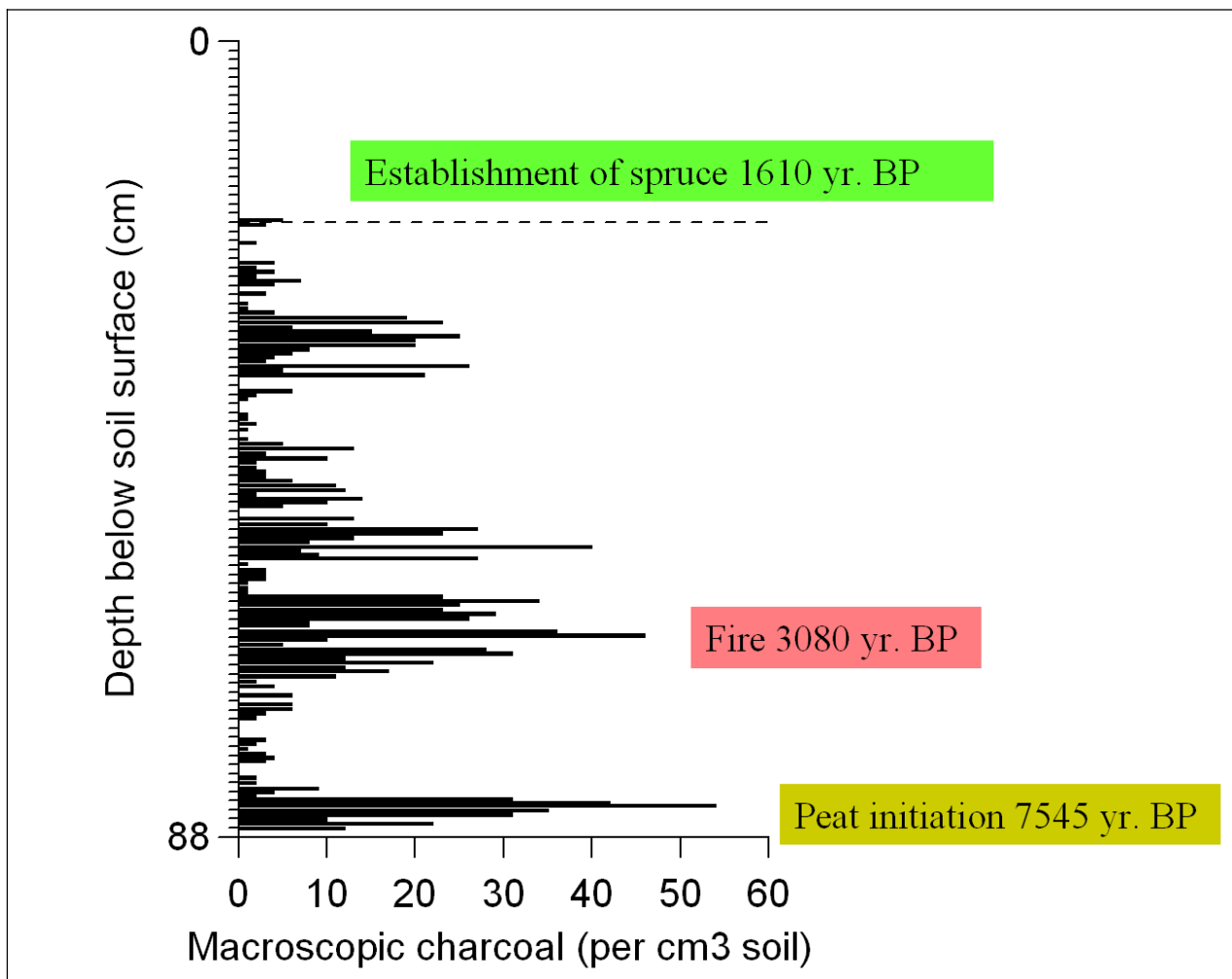


Figur 7, Dendrokronologi – årstall for forekomst av brann er markert på årringene. Foto: Olle Zackrisson. (Zackrisson & Östlund 1991)

En annen metode, som gir gode muligheter til å studere romlig variasjon i forekomst av brann i lange tidsperspektiv er å ta jordprøver med bor, hvor så jordsylindren blir tørket og man kan plukke ut makroskopiske biter av kull. Ved hjelp av ^{14}C -datering kan man finne fram til tidspunkt for brannen. (Tryterud 2003; Molinari et al. 2005).



Figur 8, Jordprøve med lagvise spor av kull. (Forelesning ved Ohlson, M. 2006)



Figur 9, Etablering av gran. Brann 3080 bp. Peat initiation 7545 bp. (Forelesning ved Ohlson, M. 2006)

Det er gjort mange studier med perspektiv over flere tusen år. Se figur 9. Majoriteten av disse er dog basert på bare én lagrekke (Hörnberg et al. 1995). Denne metoden ser historien lengre enn med dendrokronologi. Men utafra brannens mosaikkadferd i spredning kan man bomme helt ved å kun bruke én prøve (Ohlson et al. 2006).

Her er det på sin plass å nevne at det derimot fungerer utmerket å bruke kun én lagrekke for studier av mikrofossiler som f.eks pollen og sporer da disse fordeler seg betydelig bedre i rommet (Berglund 1983) enn makroskopiske kullbiter (Ohlson & Tryterud 2000).

Det man og kan diskutere er forskernes valg av studieområder. Siden det er veldig få gamle trær igjen i dagens skoger (vist i figur 6), kan det være mest attraktivt for en forsker å oppsøke de få områdene som faktisk har gamle og brannskadede trebestander igjen. Et eksempel på dette er Eldferdalen, hvor også navnet tilsier at dette er et område som kan ha vært utsatt for jevnlig skogbranner. Ved å gjøre dette kan det hende at de forskningsresultatene som foreligger fra Norge i dag stort sett ikke er representative for landet totalt sett.

Forskning i Norge

Det er utført forholdsvis få langsiktige og detaljerte skoghistoriske undersøkelser her i landet, men de som til nå er gjort, har påvist flere viktige forhold. Disse undersøkelsene er utført i blant annet barskogområdene på Totenåsen, i Nordmarka og Østmarka ved Oslo, og i Siljan kommune i Telemark. De dokumenterer omfattende opptreden av branner, særlig i de tørre skogtypene. Det er også påvist enkelte distinkte perioder der det ikke har brent mye adskilt av perioder med branner. Det er også påvist hyppig forekomst av brannrefugier, dvs. områder som har brent lite eller ingenting i perioden etter siste istid. Dette er et viktig og særnorsk forhold som også er distinkt forskjellig i forhold til situasjonen i Finland og Sverige, der brann påvirket det aller meste av skogarealet. Stikkprøver gjort i Finnmark og Østfold viser et mønster som tidligere er påvist i Sverige; at brannhyppigheten er minst i de boreale områdene i nord og størst i de sørlige områdene. Lokalhistorisk materiale om branner de siste 200 år tyder på at mennesket som tenningskilde har vært en langt viktigere årsak til skogbranner enn lynnedslag, og antall og omfang av branner er gått ned etter at brannbekjempelse ble innført (Bleken et al. 1997; Haugmo 2004;).

Kunnskap om norsk brannhistorie er viktig for riktig forvaltning. Forskning viser at Holocene skogbrann i Norge antagelig aldri var tilstede overalt som økologisk fenomen i tiden etter siste istid (Tryterud 2003). Store latitudes forskjeller i historiske brannforekomster tyder på at skogbrann, generelt, var sjeldent i sentrale innlands-Norge, mens Sør-Norge har erfart en større

variasjon i brannregimer. Blant prøveflatene som ble studert i forskningsprosjektet i Eldferdalen og som viste seg å være påvirket av skogbrann, har størstedelen av brannene funnet sted i forkant av den store etableringen av gran. Konsekvensen av disse resultatene er at brannregimet har gått fra brannutsatte furuskoger til brannfrie granskoger. Tryterud (2003) konkluderer med at granskog har en evne til å endre brannregimer på grunn av sin tette trekrone, noe som i sin tur gir endrede mikroklimatiske forhold.

Forskning på en 800 år gammel brannhistorie i Eldferdalen naturreservat og områder rundt viste et brannintervall på gjennomsnittlig 10,5 år. Derimot viste forskning at intervallene var lengre i øst (gjennomsnittlig 49,1 år). Kun 3 branner ble observert etter 1759, den siste i 1822 (Groven & Niklasson 2005). Basert på historiske nedtegninger antar Groven og Niklasson at det høye antallet branner og de korte intervallene skyldtes påtenning for landbruksformål, mest sannsynlig brenning for å bedre beitetilgang og svedjebruk. De antyder også at stans i skogbrannforekomster var påvirket av økte tømmerpriser og gruvedrift, noe som i sin tur ga økt interesse hos skogeierne for å bevare skogressursene (Groven & Niklasson 2005).

I tillegg til frekvente branner, kan den årstiden brannen forekom på si oss noe om brannens årsak. Størstedelen av brannene vest i området i ovenfor nevnte forskningsprosjekt viste seg å ha funnet sted utenfor vekstsesongen eller tidlig i vekstsesongen (Groven & Niklasson 2005). Da vår og høst er årstider med liten lynaktivitet i øst-Norge (Rokseth et al. 2001), er det trolig at brenning for å bedre beitetilgang kan ha funnet sted, særlig på våren da dødt organisk materiale fra året før har tørket opp (Groven & Niklasson 2005).

Størrelsen på brannene kan også si oss noe om de er påtent av mennesker eller om de er naturlige. En stor andel av små hyppige branner kan tyde på menneskelig kontroll (Niklasson & Granström 2000).

Spørsmålet er hvor mye innvandrerne brente i utmark og hvor omfattende ulike former for kulturbetingede brenninger egentlig har vært. Mens lynnedslag lettest har tent branner på de dårligste bonitetene og de tørreste skogtypene, har den kulturbetingede brenningen først og fremst foregått på de beste bonitetene (Bleken et al. 1997).

Niklasson og Groven antyder også at stans i skogbranner ble påvirket av økte tømmerpriser og gruveaktivitet, noe som igjen har gitt en større interesse for å begrense skogbranner.

Deres forskning i Eldferdalen viser at regelmessige brannforekomster stopper opp på midten av 1700-tallet. Lignende mønster finner man også fra tidligere forskning i nordligere deler av Fennoskandia (Zackrisson 1977), men her skjer brannstoppen et hundreår senere enn i sørøst Norge. Dette er sannsynligvis et resultat av at skogen fikk en større kommersiell verdi omtrent hundre år tidligere i sør enn i nord. Regionale klimatiske endringer er også brukt som forklaringer for endrede brannregimer i regioner i Fennoskandia. Men når det gjelder forskning i Eldferdalen og den

begrensede tilgangen på kunnskap om forholdet mellom klima og brannregime i dette området, peker Groven og Niklasson her på to mulige antropologiske forklaringer for den overraskende tidlige stansen i skogbranner i Eldferdalen.

- 1) Kongsberg Sølvgruver, Norges største industrielle foretak på 1700-tallet, ligger 20 km øst for Eldferdalen naturreservat og gruvedrifta hadde monopol på skogsrettighetene rundt gruva (Berg 1998).
- 2) Moderne kommersiell tømmerdrift kom tidligere til Sør-Norge og Eldferdalen-området. Det hadde startet allerede på 1500-tallet, minst 2 århundrer tidligere enn i nordlige og øde strøk av Sverige og Finland (Groven & Niklasson 1997, Östlund 1993, Tveite 1964).

Perioden fra midten av 1700-tallet til begynnelsen av 1800-tallet var en periode med sterk økonomisk vekst i Europa. Den sterke veksten i økonomien resulterte i en dobling i tømmerprisene i Norge (Tveite 1964). De økte tømmerprisene kan i seg selv ha vært nok til å sette sterkt fokus på bevaring av skogressursene, noe som kan ha gitt avtagende overlagt brenning av skog og kanskje økt lokal interesse i brannslukking og interesse for å straffe brannstiftere.

Det er utført få undersøkelser av langsiktige økologiske effekter av brannslukking her i landet, men en mulig forsuring av vassdrag som en følge av at man har bekjempet skogbranner har vært diskutert (Bleken et al. 1997). Det er et voksende fokus på skogbranner og deres mulige effekter på atmosfæriske forhold og klimaendringer (Kasischke & Stocks 2000; Randerson et al. 2006; IPCC 2007; Marlon et al. 2008). Det viser seg at tidlige suksesjonsstadier av skog, f. eks lauvoppslag reflekterer mer energi enn den voksne granskogen (Randerson et al. 2006) Denne diskusjonen er av interesse for vurdering av mulige fremtidige endringer, også i det norske brannregimet.

Brannregimet i Norge kan betegnes som vått og kjølig med bakgrunn i dagens klimaforhold. Gjennom sammenligninger naturgeografisk og regionalt i ser man et særtrekk ved det norske brannregimet i forhold til det svenske og finske at klimaet kombinert med de enorme topografiske variasjonene kan resultere i mange områder som aldri har brent; såkalte brannrefugier (Bleken et al. 1997).

Et eksempel på forskning i utlandet

Bruk av brann er et viktig tema innen bevaring av Ponderosa (*Pinus ponderosa*) furuskog i sør-vestre deler av USA. En slik naturskog arter seg med spredte trær og gressbakke, der

overflatebranner har spilt en stor økologisk rolle. Menneskelig påvirkning de siste århundrer gjennom beiting, tømmerdrift og brannslukking har derimot gitt en tettvekst skog med endrede økologiske egenskaper. Branner i denne typen skog blir voldsomme og kan true både lokalsamfunn og økosystem. Ponderosa-furu har vingeløse frø og har derfor liten spredningsevne. Kraftige kronebranner over større områder vil derfor kunne hindre nyetablering i lange tider (Allen et al. 2002).

Brann og revegetering

Etter en skogbrann endres forutsetningene for livet i skogen og de ulike prosessene som pågår der. En mengde nye mikromiljøer skapes der hvor ilden har fjernet vegetasjon, humus og ved. For utviklingen av nye trær går denne forandringen oftest i en positiv retning. Sjansen for at et frø utvikler seg til voksent tre er mange ganger større om det havner på nybrent mark i motsetning til mosedekt mark under voksne trær (Granström et al. 1995).

Variasjonen i brannintensitet og dens virkning på de eldre tregenerasjonene har betydning for planteutviklingen, både gjennom muligheter for spredning og for det miljøet som frøet skal spire i (Granström et al. 1995).

I dag har interessen for foryngelsesmetoder som skjermstilling av gran, frøtrær av furu, plukkhogst og såing i ulike former økt. Felles for alle disse metodene er at man baserer seg på planteetablering fra frø, enten naturlig forekommende eller kunstig sådd (Granström et al. 1995). Det moderne skogbruket med planting av relativt få planter, som og er genetisk homogene, blir noe ganske annet i et biodiversitets perspektiv, jamfør figur 10 med tall for naturlig frøsetting.

Natural regeneration after a wild fire (seedlings ha-1):	
900 000	Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i>)
300 000	Norway spruce (<i>Picea abies</i>)
200 000	Birch (<i>Betula pubescens</i>) and (<i>B. Pendula</i>).
600 000	Aspen (<i>Populus tremula</i>)
70 000	Willow (<i>Salix caprea</i>)
= Genetic diversity due to large numbers	
= Solid base for natural selection	

Figur 10, Naturlig foryngelse etter skogbrann gir store antall frø (Ohlson 2006, forelesning UMB).

Brann og skogbruket

Skog som har utviklet seg gjennom tilbakevendende skogbranner bør i framtiden skjøttes på en slik måte at man så langt som mulig bevarer de biologiske verdiene som henger sammen med utviklingen, her skogbrannpåvirkning (Zackrisson & Östlund 1991).

Skogbranner er dynamiske fenomen og kan gi veldig ulike effekter på skogen. Det brannpregede skoglandskapet har derfor et langt større mangfold enn hva dagens skogbrukslandskap kan tilby. For å bevare dette mangfoldet må man ta lærdom av naturskogen (Schimmel & Granstöm 1991). Der skogbranner tidligere har vært svært vanlige, kan man i framtiden bevisst bruke kontrollert brenning som en metode i naturvernet (Schimmel & Granstöm 1991).

Skogbranns betydning for viltøkologi

Kvantifisering av tidligere tiders brannregimer er viktig fordi det kan indikere under hvilke forhold organismer har levd og overlevd historisk. På den annen side forteller det oss ikke hva som skjer under endrede brannregimer. Hva er kort- og langtidseffekt av dagens brannregime på biodiversitet, og hvilke variabler er mest signifikante?

Branner har en rekke direkte effekter på dyr. De forandringene som branner medfører i jordsmonn, sopp og plantesamfunn, påvirker også dyresamfunnet i brente områder gjennom suksesjon av nye plantesamfunn som igjen gir suksesjon i faunaen (Chandler et al. 1983).

Selv om brannsløkking er svært effektivt i dag i deler av den boreale regionen, begrenser denne kun omfanget av hver enkelt brann, ikke antall branner. Antall branner er i dag større enn i en naturlig tilstand (Granström 2001).

Organismer med god spredningsevne kan fortsatt finne disse små områdene med brent substrat og holde populasjonen fra utryddelse (Granström 2001).

Med det økte antall branner er spredningsavstand mellom substratsteder mest trolig kortere og variasjonen i substrattetthet over år kan også være mindre. Den spesialiserte brannfaunaen er fortsatt relativt og regionalt intakt i Sverige (Wikars & Ås 1999).

Organismer i den boreale skogen som er spesialisert på ferske brannflater, må gjennom deres evolusjon ha vært under ekstrem seleksjon for spredning i tid og rom, noe som gjør dem motstandsdyktige selv med dagens effektive brannsløkkingsregime (Granström 2001).

Andre forstyrrelser som hogging og mekaniske skader i marka foregår i stor skala og tilbyr habitater for mange organismer som tidligere kan ha vært avhengig av en brann for å finne lignende forhold. Men brann har likevel noen egenskaper som ikke kan kompenseres for mekanisk. Habitater for strengt brannelskende arter (pyrophilous species), spesielt forhold i jorda og i selve skogstrukturen, er det kun skogbrann som kan legge tilrette for (Granström 2001).

Undersøkelser har påvist at effektene av branner på pattedyr varierer med habitatforhold, næringsforhold, tilpasninger til skjul osv. (Chandler mfl. 1983, Peek 1986). Det finnes knapt brannspesialister blant pattedyrene, men derimot mange profitører, dvs. arter der bestandene reagerer positivt, med evne til å tilpasse seg høyst ulike vegetasjonssamfunn (Nelson 1974, Chandler mfl. 1983).

Selv om brann på grunn av sine påvirkninger på habitatstrukturen vil påvirke bestandsutviklingen hos de fleste artene i en eller annen retning, er det ikke sikkert at det har brent ofte nok (dvs. at branner har hatt for lav frekvens) til at dyrene evolusjonært har utviklet trekk for å utnytte for eksempel den økte næringsmengden som skapes etter branner (Bleken et al. 1997).

Et eksempel på branntilpasning finner man hos enkelte hjortedyr. Den går ut på å utvikle økt fleksibilitet til å produsere flere kalver når næringsforholdene plutselig blir gode (Bleken et al. 1997). Hjortedyr er også den pattedyrgruppen som er mest studert i forhold til branner både når det gjelder livshistorietilpasninger og populasjonsdynamikk. Av de fire artene i Norge er rådyr (*Capreolus capreolus*) og elg (*Alces alces*) såkalte ”konsentratspisere”, dvs. arter som fysiologisk sett er tilpasset lettfordøyelig næring som urter og løvoppslag (Bleken et al. 1997). Hjort (*Cervus elaphus*) karakteriseres som en ”intermediat beiter”, dvs. at den har en relativt stor andel gras i næringsvalget, men likevel ikke så mye som typiske grovforspisere som sau og storfe. Villrein (*Rangifer tarandus*) klassifiseres også som et intermedialt beitedyr (Bleken et al. 1997).

Branner påvirker alle hjortedyrene gjennom å endre mengden næring og skjul i leveområdene. I eldre skogbestander er næringen ofte en sterkt begrensende faktor, mens det er nok av skjul. På brannflater vil det vokse opp store mengder urter og unge løvtrær, næringsressurser som rådyr og elg er tilpasset å fordøye (Hofman 1989). Dagens skogbruk med store hogstflater kan derimot gi samme virkning (Bleken et al. 1997).

Det kan i boreale barskoger være langt imellom brannflatene (Bleken et al., 1997) og det er for et hjortedyr umulig på forhånd å vite hvor de er lokalisert. Et individ som på et tidlig stadium finner en slik brannflate, vil derfor kunne oppleve liten konkurranse om store næringsressurser (Bleken et al. 1997).

En sammenlignende undersøkelse av livshistorietrekk hos i alt 35 hjortedyrarter konkluderte med at det blant konsentratspiserne er yngre hunner som har en særlig stor evne til spredning i leveområdene (Liberg & Wahlstrøm 1995). Dette kan tolkes som tilpasninger til gunstige forhold som skapes av habitatforstyrrelser, der skogbrann sannsynligvis har vært den viktigste (Cederlund & Liberg 1995).

Men når det gjelder de norske hjortedyrartene er det bare elg og rådyr som har denne fleksibiliteten til å produsere flere avkom. Derfor er det disse to artene man må legge vekt på når det gjelder skogbranner og livshistorietrekk (Bleken et al. 1997).

Effektene av skogbranner på en pattedyrbestands størrelse vil variere avhengig av hvilke faktorer som i utgangspunktet regulerer eller begrenser den. Hvis bestanden er regulert for eksempel av næringsmengden, vil en brann kunne virke positivt gjennom å åpne deler av leveområdet slik at det produseres mer beite. Hvis derimot bestanden er regulert av rovdyr, er det ikke sikkert at branner vil ha noen effekt (Bleken et al. 1997).

I et studie gjort av Ohlson og Staaland (2001) vises det til en sterk link mellom plantediversitet og mineraldiversitet. Stor plantediversitet er viktig for mineraldiversiteten som for eksempel elgen trenger. Ikke bare i mengde, men også i størrelsesforhold mellom mineraler og næringsstoffer (Ohlson & Staaland, 2001).

Det har tidligere vært utbredt enighet i nordamerikanske undersøkelser om at skogbranner med få unntak øker næringsmengden, også vinternæring for elg (*Alces alces gigas*). Branner skaper vanligvis tette bestander av vier (*Salix* spp.), bjørk (*Betula* spp.) og osp (*Populus* spp.). Dette er næringsvekster som kan føre til en økning i bestanden av elg (Miller 1963). Elgen har derfor tradisjonelt blitt karakterisert som en brannprofitør og i forbindelse med skogbrann beskrevet som en ”brannfølger” (Bendell 1974). I Norge er det påvist at vier (*Salix*) kan innholde eksepsjonelt høye mengder av det svært giftige tungmetallet kadmium, og dette er blitt pekt på som en mulig forklaring til elgens svekkete helsestatus i Agderfylkene (Ohlson & Staaland 2001).

Ifølge Miller (1963) er økningen i elgbestanden begrenset til en tiårsperiode etter branner mens skogen ennå er forholdsvis åpen. Tette skogbestander produserer for lite næring til å opprettholde store elgbestander. Tyve år etter en skogbrann produseres mesteparten av næringen for høyt til at elgen klarer å beite det.

Men både artssammensetningen og kvaliteten på plantematerialet i suksesjonen som følger den enkelte brannen, er med på å bestemme elgbestandens reaksjon, dersom den overhodet er næringsregulert. I denne sammenhengen kan man forvente lokalspesifikke forhold i henhold til forskjellige plantearters innhold av essensielle mineralnæringsstoffer (Ohlson & Staaland 2001).

KONKLUSJON

Variasjon og samspill mellom forstyrrelsesregimer vil sannsynligvis opptre også i fremtiden. Derfor er det nødvendig å være oppmerksom på temporære og romlige variasjoner både innen naturvern og i skjøtsel av skog. Dette har stor aktualitet fordi skogbruket over hele verden nå har som mål å nærme seg en økologisk bærekraftig bruk av skog, hovedsaklig ved å etterligne naturlige branner og andre forstyrrelsesregimer. Ut fra diskusjonen ovenfor vil dette best kunne gjennomføres hvis tiltakene er basert på lokal økologisk relevant informasjon og ikke overføres fra andre steder innenfor eller mellom vegetasjonssoner. Erfaringer fra Canada er ikke nødvendigvis overførbare til Norge. Det er behov for mer forskning i Norge på skogbrannhistorikk for å kartlegge et eventuelt behov for utbredt bruk av forvaltningsbranner her til lands.

Når det gjelder de vitenskapelige metodene har jeg stilt spørsmål ved representativiteten i forskningen gjort per i dag. Vi har lite gammelskog igjen her i landet, slik at det levende arkivet er mangelfullt. For å få et bedre bilde på norsk skogbrannhistorie er det nødvendig med større undersøkelser ved hjelp av jordprøver med plott som dekker større områder for å avdekke det mosaiske mønsteret. Også på områder som i dag fremstår som homogene gran og furuåkrer i ung alder.

Det er gode argumenter for naturlig foryngelse ved frøsetting på brent mark. Antall frø og den genetiske diversiteten disse gir er mange ganger større ved naturlig foryngelse enn ved manuell planting hvor den genetiske diversiteten av de fremavlede plantene er mye lavere.

Når det gjelder skogbrann og viltøkologi, med fokus på elg og rådyr, er det usikkert hvorvidt uteblivelse av branner har noen stor betydning. Dette fordi skogbruk gjennom flatehogst gir suksesjonsendringer i plantesamfunnet som kan sammenlignes med det som oppstår på en brannflate. På den annen side kan brannflater gi en annen næringssammensetning gjennom endringer i jordsmonnet som igjen kan påvirke beitedyrene. Moderne skogbruk innebærer også ofte manuell planting av homogene fremavlede småplanter og viltet vil da kunne gå glipp av variasjon i næringsinnhold hos plantene på grunn av mindre innenartsvariasjon.

LITTERATURLISTE

Allen, C.D., Savage, M., Falk, D.A., Suckling, K.F., Swetnam, T.W., Schulke, T., Stavey, P.B., Morgan, P., Hoffman, og M., Klingel, J.T. 2002. Ecological restoration of southwestern ponderosa pine ecosystems: a broad perspective. *Ecological Applications*, 12(5). pp.1418-1433. Ecological society of America.

Bendell, J.F. 1974. Effect of fire on birds and mammals. *Fire and Ecosystems*. New York: Academic press, s 73-138.

Berg, B.I., 1998. Gruveteknikk ved Kongsberg Sølvverk 1623-1914. STS Rep. 37. Senter for teknologi og samfunn, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Trondheim, Norway.

Bleken, E., Mysteryd, I., og Mysterud, I., 1997 Skogbrann og miljøforvaltning. En utredning om skogbrann som økologisk faktor. Direktoratet for brann og eksplosjonsvern. Biologisk institutt, Universitetet i Oslo. Direktoratet for sivilt beredskap. Direktoratet for naturforvaltning. Skogbrand Forsikringsselskap.

Cederlund, G. og Liberg, O. 1995. Rådjuret. Viltet, ekologin och jakten. Solna: Svenska Jägerförbundet.

Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. og Williams, D. 1983. *Fire in forestry*. Volumes 1 & 2. New York: Wiley.

Engelmark, O. 1984. Forest fires in the Muddus National Park (northern Sweden) during the past 600 years. *Canadian Journal of Botany*. Pp 893-898. National Research Council Canada.

Engelmark, O. og Hofgaard, A. 1985. The oldest Scots pine, *Pinus sylvestris*, in Sweden. Sv. Bot. Tidsskrift 79:415-416.

Engelmark, O., Kullman, L. og Bergeron, Y. 1994. Fire and age structure of Scots pine and Norway spruce in northern Sweden during the past 700 years. *New Phytologist* 126:163-168.

Engelmark, O. 1997. Brann og andre forstyrrelsesårsaker i boreale skoger, økologiske variasjoner og praktiske tilpasninger. *Aktuelt fra Skogforsk*. 2-97.

Fries, C., Johansson, O., Pettersson, B. og Simonsson, P. 1997: silvicultural models to maintain and restore natural stand structure in Swedish boreal forests. *Forest Ecology and Management* 94, 89-103.

Franklin, J.F., 1992. Scientific basis for new perspectives in forests and streams. In: Naiman, R.J. (Ed.), *Watershed Management: Balancing Sustainability and Environmental Change*. Springer Verlag, New York. Pp.25-72.

Groven, R., og Niklasson M., 2005. Antropogenic impact on past and present fire regimes in boreal forest landscape of southeastern Norway.

Granström, A. 1991. Elden och dess följeväxter i södra Sverige. *Skog og Forskning* 4/91. Pp. 22-27

Granström, A., 2001. Fire management for biodiversity in European Boreal Forest. Scand. J. for.

Res. Suppl. 3: 62-69.

Granstöm, A., Ericsson, O., Schimmel, J. 1995. Frøet, grodden og fienderne. *Skog og forskning* 1/95. Pp 34-40.

Hanski, I., Hammond, P., 1995. Biodiversity in boreal forests. *Trend. Ecol. Evolut.* 10,5-6.

Haugmo, M. 2004. Amount and distribution of macroscopic charcoal in soil within a Norwegian boreal forest landscape. Master thesis. Agricultural University of Norway.

Hofmann, R.R. 1989. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation of ruminants: a comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78: 443-57

Hörnberg, G., Ohlson, M., og Zackrisson, O. 1995: Stand Dynamics, regeneration patterns and long-term continuity in boreal old-growth *Picea abies* swamp-forest. *Journal of Vegetation Science* 6, 291-298.

IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (Cambridge Univ. Press).

Jonsson, L., Dahlberg, A., Nilsson, M., Zackrisson, O. og Kåren, O. 1999. Ectomycorrhizal fungal communities in late-successional Swedish boreal forests, and their composition following wildfire. *Molecular Ecology* 2/99.

Kasischke, E. S. og Stocks, B. J. (eds) 2000. Fire, climate change and carbon cycling in the boreal forest. *Ecological Studies* 108. Springer, New York.

Landres, P.B., Morgan, P., og Swanson, F.J, 1999. Overview of the use of natural variability concepts in managing ecological systems. *Ecol. App.* 9: 1179-1188.

Larsen, J.Y., Hysten, G. 2007. Skogen i Norge. Statistikk over skogforhold og skogressurser i Norge registrert 2000-2004. Viten fra Skog og Landskap 01/07.

Larsson, B. 1995. Svedjebruk og rydningsbrenning i Norden - terminologi, datering, metoder. Nordiska museet. Skrifter om skogs- och lantbrukshistoria 7: 1-190

Liberg, O., og Wahlstrøm, K. 1995. Habitat stability and litter size in the Cervidae; a comparative analysis. University of Stockholm.

Marlon et al. 2008. Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. *Nature Geoscience* 1, 697-702.

Miller, H.A. 1963. Use of fire in wildlife management. *Proceedings of the Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference* 2: 18-20.

Noble, I.R. og Slatyer R.O. 1981. Concepts and models of succession in vascular plant communities subject to recurrent fire.

Ohlson, M. 2006. Forelesning ved Universitet for Miljø og Biovitenskap. Ås, Norge.

Ohlson, M., Korbøl, A., Økland, R. 2006. The macroscopic charcoal record in forested boreal peatlands in southeast Norway. *The Holocene* 16,5. Pp.731-741

- Ohlson, M. and Tryterud, E.** 1998. Long-term spruce forest continuity - a challenge for a sustainable Scandinavian forestry. - *For Ecol. Manage.* 124: 27-34.
- Ohlson, M.**, 1996. The link between past and present events in forest ecosystems - Some examples from Norway. In: Larsen, J.B. (Ed.), Sustainable Forest Management, Nordic council of Ministers, TemaNord 578. Pp. 45-50.
- Ohlson, M., Hörnberg, G., Zackrisson, O., Hermannson, J.**, 1997 . Habitat qualities versus long-term continuity as determinants of biodiversity in boreal old-growth swamp forests. *Biol. Cons.* 81, 221-231.
- Ohlson, M., Staaland, H.** 2001. Mineral diversity in wild plants: benefit and bane for moose. *Oikos* 94: 442-454.
- Pyne, S.J.**, 1997. Vestal fire. An environmental history, told through fire, of Europe and Europe's encounter with the world. University of Washington press, Seattle, Wash.
- Randerson J.T., Liu, H., Flanner, M.G., Chambers, S.D., Jin, Y., Hess, P.G., Pfister, G., Mack, M.C., Treseder, K.K., Welp, L.R., Chapin, F.S., Harden, J.W., Goulden, M.L., Lyons, E., Neff, J.C., Schuur, E.A.G. and Zender, C.S.** 2006. The impact of boreal forest fire on climate warming. *Science* 314, 1130-1132.
- Sandmo, J.K.** 1951. Skogbrukshistorie. Oslo: Aschehoug
- Schimmel, J. og Granström, A.** 1991. Skogbrannene og vegetasjonen. *Skog og forskning* 4/91. pp 39-46.
- Smith, R.L. og Smith, T.M.** 2001. Ecology and field biology.
- Swetnam, T.W., Allen, C.D., og Betancourt, J.** 1999. Applied historical ecology: using the past to manage for the future. *Ecol. Appl.* 9: 1189-1206
- Tryterud, E.** 2003. Forest fire history in Norway: from fire-disturbed pine forests to fire-free spruce forests., *Ecography* 26: 161-170
- Tveite, S.** 1964. Skogbrukshistorie. I Skogbruksboka: Skogbruk og skogindustri. 3 Skogøkonomi. Skogforlaget, Oslo, Norway. Pp 17-76.
- UNFCCC**, 1997. Kyoto protocol to the United nations framework Convention on Climate Change, Document FCCC/CP/1997/7add.1. <http://www.unfccc.int>.
- Wallenius, T.H., Kuuluvainen, T., and Vanha-majamaa, I.** 2004. Fire history in relation to site type and vegetation in Vienansalo Wilderness in eastern Fennoscandia, Russia. *Can. J. Fir. Res.* 34: 1400-1409.
- Wikars, L.-O. & Ås, S.** 1999. Skallbagarna som följer på branden. *Skog og Forskning* 1999:2:53-58.
- Zackrisson, O.** 1977. Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest. *Oikos* 29: 22-33.
- Zackrisson, O. og Östlund, L.** 1991. Branden formade skogslandskapets mosaik. *Skog og forskning* 4/91. pp 13-21.

Östlund, L. 1993. Exploitation and structural changes in the North Swedish boreal forest 1800-1992. Dissertation in forest vegetation Ecology 4. Swedish university of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden.

Økland, R.H., Rydgren, K. og Økland, T. 2003. Plant species composition of boreal spruce forests: Closed doors and Windows of opportunity. *Ecology* 7/03. Pp 1909-1919.