

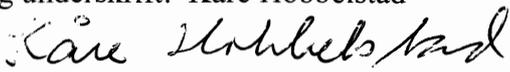
Skoggrensa i Norge
- indikator på endringer i klima og arealbruk?
John Y. Larsson



Skoggrensa i Norge - indikator på endringer i klima og arealbruk?

John Y. Larsson

Forsidebilde:
Fra Haukelifjell, 1050 m oh.

Tittel: Skoggrensa i Norge – indikator på endringer i klima og arealbruk?		NIJOS nummer: 03 /2004
Forfatter(e): John Y. Larsson		ISBN nummer: -----
Oppdragsgiver: NIJOS		Dato: 20. februar 2004
Prosjekt/Program: Landsskogtaksering/Overvåking		
Relatert informasjon/Andre publikasjoner fra prosjektet:		
<p>Utdrag:</p> <p>De siste prognosene fra klimaforskerne antyder at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge de neste 50 årene vil øke med 1,0 - 2,5 grader. En forflytting av klimasonene nordover og oppover for de nordlige og tempererte skogene vil føre til endringer i skogens sammensetning. Det boreale barskogbeltet vil flytte seg nordover og oppover. Edellauvskog vil ta over for barskog i sør, og gran og furu vil ta over for bjørk mot fjellet og nordover. Bjørk vil okkupere store areal som nå er snaufjell. Dette vil i Norge føre til en betydelig økning av skogarealet.</p> <p>De fleste forskerne er enige om at et godt sted å se etter bevis på endringer er blant populasjoner på kanten av artens geografiske (klimatiske) utbredelse. Landsskogtakseringens prøveflatenett kan være egna for overvåking av skoggrensa gjennom et systematisk utlagt prøveflatenett, kobla til det eksisterende nettet.</p>		
Abstract:		
Emneord: Skoggrense Klima Arealbruk	Keywords:	Sideantall + evt. Vedlegg: 44
Geografisk sted: Ås		Pris kr: Pris S/H :
Ansvarlig underskrift: Kåre Hobbelsstad 		Kartmålestokk:
Utgiver: Norsk institutt for jord- og skogkartlegging Postboks 115, N - 1431 Ås Tlf.: + 47- 64 94 9700 Faks: + 47- 64 94 97 86 E-post: nijos@nijos.no		

Forord	3
Sammendrag	4
Innledning	5
Bakgrunn	7
<i>Klimautvikling siden istiden</i>	7
<i>Scenarier om framtidig klimautvikling</i>	8
Hva vil skje i Norge?.....	8
Ikke bare negativt	10
Sommertemperaturer	10
Vintertemperaturer	10
Nedbør.....	11
Vind.....	11
<i>Tiltak</i>	12
Skogens historiske utbredelse	13
<i>Treslagenes innvandring</i>	13
<i>Skoggrensas utvikling</i>	14
<i>Framtidsscenarier</i>	14
Klimaendringer og effekt på skogøkosystemer	15
Klimaendringer og effekt på skogøkosystemer	16
<i>Effekter på skogsjord og CO₂ – balanse</i>	16
Skoggrensa som indikator på klimaendringer	17
Skoggrensa som indikator på klimaendringer	18
<i>Sammenhenger med tidligere klimavariasjoner</i>	19
Svenske undersøkelser	20
<i>Sårbare økosystemer, gode indikatorer</i>	20
Antropogen påvirkning	21
Skoggrense og tregrense	22
<i>Definisjoner på skoggrense og tregrense</i>	22
Skoggrensenivåer	22
<i>Skoggrenser og tregrenser - noen viktige norske definisjoner</i>	24
<i>Ulike typer skoggrenser</i>	25
Alpin skoggrense.....	25
Arktisk skoggrense.....	26
Skoggrense mot havet	26
Arealbruk i skoggrensa	26

Arealbruk i skoggrensa.....	27
<i>Seterdrift og beiting.....</i>	27
<i>Tradisjonelt skogbruk.....</i>	28
<i>Kullbrenning og gruvedrift.....</i>	28
<i>Anleggsvirksomhet</i>	29
Foryngelse av trær i skoggrensa	30
<i>Frøspredning.....</i>	30
<i>Spiring.....</i>	30
<i>Vegetativ formering.....</i>	30
<i>Fysiognomiske og økologiske kjennetegn, faktorer som begrenser trevekst.....</i>	31
Klimatisk og empirisk skoggrense	32
Klimatisk skoggrense	32
Empirisk skoggrense	32
Fysiognomiske og økologiske forskjeller	33
Skoggrensa som indikator på klimautvikling.....	34
Praktisk bruk av skoggrensa som klimaindikator	34
Praktisk bruk av skoggrensa som klimaindikator	35
<i>Konseptet skoggrense-tregrense</i>	35
<i>En praktisk tilnærming</i>	35
Barskoggrensa mot sør	37
Aktuelle registreringsopplegg	38
<i>Formål.....</i>	38
<i>Prøveflatenett</i>	38
<i>Aktuelle parametre</i>	38
Overvåking av biologiske parametre:	38
Nye parametre	39
<i>Foto</i>	40
Metode.....	40
Arkivering	40
Utfordringer.....	40
Litteratur.....	41

Forord

Den tredje hovedrapporten fra FN's klimapanel (IPCC) konkluderer med at vi kan vente fortsatte klimaendringer de nærmeste tiårene selv om det gjøres en betydelig innsats for å begrense utslipp av klimagassene.

I en rekke land er det initiativ i gang for å finne ut hva slags konsekvenser endringer i klimaet kan ha for skogen. Et av de første spørsmålene som melder seg er hvordan skogarealet endrer seg. Det er dokumentert at den klimatiske skoggrensa i Skandinavia har hevet seg med ca 40 m fra 1918 til 1968. Bjørk, med rask vekst, tidlig modning og kort livssyklus er antagelig den mest sensitive til temperaturvariasjoner. Siden bjørk responderer raskere til klimavariasjoner enn bartrær, kan faktiske bevis på generell global oppvarming skaffes ved å overvåke den klimatiske skoggrense for bjørk.

Formålet med denne rapporten er å presentere noe av den kunnskapen som forskningen har presentert om klimaendringer, framtidige klimascenarier og mulige effekter på skogens utbredelse og sammensetning. Det er lagt vekt på forskning som har pågått i overgangssonen mellom skog og tundra/snaufjell.

Dette er tenkt som et grunnlag for vurdering om prøveflatenettet til Landsskogtakseringen kan være egna for å overvåke endringer som skjer med skogarealet i Norge, med vekt på utviklingen i skoggrensa.

Det blir foreslått et opplegg basert på en utvidelse av dagens prøveflatenett der eksisterende registreringsparametre, supplert med enkelte formålsretta tilleggsregistreringer, kan gi grunnlag for å overvåke endringer som skyldes både klimaendringer og gjengroing som følge av endra arealbruk i fjellskogen.

Sammendrag

De siste prognosene fra klimaforskerne antyder at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge de neste 50 årene vil øke med 1,0 - 2,5 grader. En forflytting av klimasonene nordover og oppover for de nordlige og tempererte skogene vil føre til endringer i skogens sammensetning. Det boreale barskogbeltet vil flytte seg nordover og oppover. Edellauvskog vil ta over for barskog i sør, og gran og furu vil ta over for bjørk mot fjellet og nordover. Bjørk vil okkupere store areal som nå er snaufjell. Dette vil i Norge føre til en betydelig økning av skogarealet.

De fleste forskerne er enige om at et godt sted å se etter bevis på effekter av klimaendringer er i populasjoner på kanten av artens geografiske (klimatiske) utbredelse. I tillegg til reproduksjon og utbredelse må vi også forvente en utviklingsmessig tilpasning hos artene til klimaendringer. Dette betyr at i Norge vil skoggrensa være et egnet område å overvåke for å avdekke effekter av klimaendringer.

I Norge finnes skoggrensa mot tre skogløse arealtyper: alpine heier, arktiske heier og kystheier. Av disse utgjør grensa mot alpine heier langt den viktigste, men også grensa mellom skog og kystlyngheier på Vestlandet er i sterk endring. Grensa mot arktiske heier (tundra) finnes bare lengst nord i Finnmark.

Menneskers bruk av areal har i lang tid vært en viktig faktor i utviklingen av skoggrensa. De viktigste aktivitetene har vært seterdrift og beiting, tradisjonelt skogbruk, virkesuttak i forbindelse med kullbrenning og gruvedrift og virkesuttak til anleggsvirksomhet. I hvilken grad disse aktivitetene har styrt utviklingen av skoggrensa og treslagfordelingen er vanskelig å måle i forhold til klimaets innflytelse.

I Norge finnes knapt noe større, sammenhengende areal som ikke har vært utnyttet av mennesker på en eller annen måte. Mange steder har slik utnytting ført til en senking av skoggrensa til et nivå som ligger godt under den klimatiske grensa for vekst av trær. I overvåking av endringer i skoggrensa er det overmåte viktig å skille mellom den klimatiske (potensielle) skoggrensa og den empiriske (aktuelle) skoggrensa.

Landsskogtakseringens prøveflatenett kan være egna for overvåking av skoggrensa gjennom et systematisk utlagt prøveflatenett, kobla til det eksisterende nettet. For å fange opp framtidig varming i klimaet, bør nettet dekke areal som ligger minst 50 m over dagens klimatiske grense.

Et systematisk utlagt nett av prøveflater i skoggrensa som retakseres vil kunne ha flere formål:

- overvåking av endringer i den klimatiske skoggrensa som grunnlag for tolking av effekter av klimaendringer
- overvåking av endringer i den empiriske skoggrensa som grunnlag for tolking av arealbruksendringer og effekter på landskapet
- inngå i et landsdekkende nett av prøveflater og gå inn i grunnlagsmaterialet som gir oversikter over Norges skogressurser og utviklingen i disse
- skaffe referansedata for ulike forskningsprosjekter som har til formål å studere effektene av klimautviklingen i forhold til arealfordeling i skog og biologisk mangfold.

Innledning

FN's klimapanel gir sterke indikasjoner på at klimaet er i endring og at denne endringen er menneskeskapt. Klimaendringer kan få alvorlige konsekvenser globalt. Den globale oppvarmingen har vært på 0,6 °C i løpet av de siste 140 år, og skyldes for det meste drivhuseffekt. Det meste av denne oppvarmingen har skjedd i to perioder: mellom 1910 -1945 og etter 1976. Klimavariasjoner som skyldes variasjoner i solstråling er reelle, men sekundære i forhold til drivhuseffekten.

Norge vil i hovedtrekk få et varmere klima, men også mer nedbør og økt vind. Med de store ulikhetene vi har i Norge, både klimatisk og topografisk, vil dette slå ulikt ut for ulike landsdeler og til ulike årstider.

Konklusjonene i en utredning (CICERO) om konsekvenser av klimaendringer i Norge er:

- Tilpasninger til klimaendringer blir nødvendig
- Betydelige konsekvenser ventes for flere viktige sektorer i Norge
- Forvaltningen bør nå vurdere behov for tilpasning til forventede klimaendringer i sine sektorer
- I dette arbeidet trengs mer kunnskap om konsekvenser av klimaendringer.

De siste prognosene antyder at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge de neste 50 årene vil øke med 1,0 - 2,5 °C. Økningen blir minst på Vestlandskysten og størst på Finnmarksvidda. Temperaturen vil øke til alle årstider, men i de fleste områdene ventes det at økningen blir størst om vinteren og minst vår og sommer. Årsnedbøren vil øke de fleste stedene, mest om høsten, mens det om våren kan bli mindre nedbør på Østlandet. Her vil nedbøren øke mest på vinteren.

En forflytting av klimasonene nordover og oppover for de nordlige og tempererte skogene vil føre til endringer i skogens sammensetning. Det boreale barskogbeltet vil flytte seg nordover og oppover. Edellauvskog vil ta over for barskog i sør, og gran og furu vil ta over for bjørk mot fjellet og nordover. Bjørk vil okkupere store areal som nå er snaufjell. Dette vil i Norge føre til en betydelig økning av skogarealet.

Bakgrunnen for den økende interessen i endringer i overgangssonene mellom skog og tundra er at de trær og bestander som utgjør grensen mellom skog og tundra har vært og er følsomme for forandringer i klima, og modeller for fremtidig skogsutvikling indikerer en dramatisk treinvasjon i fjell- og tundraområder.

De fleste forskerne er enige om at et godt sted å se etter bevis på begrensede effekter er blant populasjoner på kanten av artens geografiske (klimatiske) utbredelse. Dette betyr at i Norge vil skoggrensa være et egnet område å overvåke for å avdekke effekter av klimaendringer. Studier i skoggrensa har imidlertid ofte vært utført på begrensa areal, og over begrensa tid, fokusert på avgrensa punkter langs skoggrensa eller på visse tidsperioder. Lang-tids multidisiplinære studier kombinert med ekstensive registreringer er derfor nødvendig.

Effekten av økte temperaturer slår ikke bare ut i form av endra vekstbetingelser for planter, men fører også til uoversiktlige konsekvenser i form av sekundære endringer som er vanskelige å forutse, blant annet mhp havstrømmer, trykkfordelinger i atmosfæren og i CO²-regnskapet globalt.

I Norge har vi en svært lang sone som viser overgang fra skog til fjell, fra skog til arktisk tundra og fra skog til treløse lyngheier langs kysten. I tillegg har det boreale barskogbeltet ei grense mot sør. Alle disse sonene antas å bli utsatt for registrerbare forskyvninger etter hvert som klimaet endrer seg. En kompliserende faktor i dette er endringer i arealbruken som påvirker de samme sonene.

Gjennom Landsskogtakseringens prøveflatenett har vi et apparat som ligger lett tilgjengelig for å overvåke endringer. I og med at disse vil bli mest tydelige i overgangssonen skog-snaufjell, vil det være nødvendig med visse tilpasninger i prøveflatenettet og registreringsparametre. Å registrere endringer vil være gjennomførbart gjennom et hensiktsmessig prøveflatenett. En større utfordring vil det være å kunne si noe om årsakene til endringene – hva som skyldes klimaendring og hva som skyldes endringer i arealbruk.



I Norge har vi ei lang sone mellom skog og fjell. Tyldal, Hedmark.

Bakgrunn

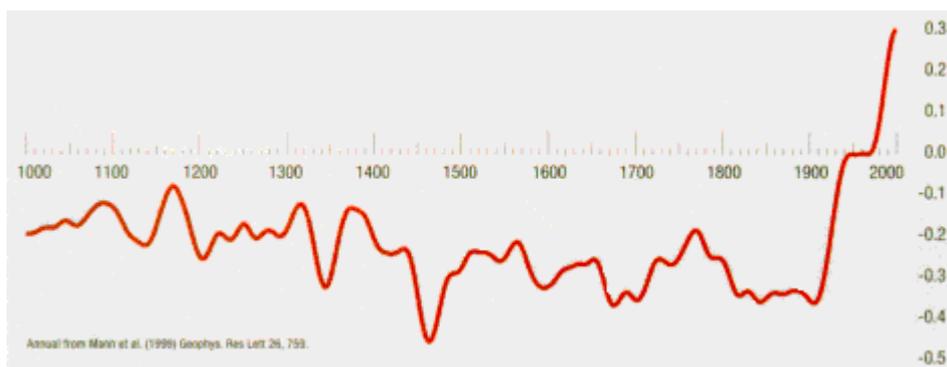
Klimautvikling siden istiden

Vi vet, bl. a. gjennom pollenanalyser og studier av isbreer, at klimaet har endret seg kontinuerlig siden siste istid. Etter istiden skjedde en gradvis oppvarming som førte til innvandring av ulike treslag, først bjørk og furu. Etter hvert blei det så varmt at varmekjære lauvtrær vandret inn og dekket mye av landet. Da gikk skoggrensa atskillig høyere enn i dag, bl.a. viser funn av pollen og planterester at Hardangervidda var skogdekt.

Furuskogen har gått kanskje 250-300 m høyere enn nå i sentrale sørnorske fjellstrøk. Den største høyde over havet rundt Jotunheimen kan ha vært ca 1300 m. Lenger nord, i Nordland, har den gått ca 200 m høyere og i Finnmark 100 m høyere enn i vår tid. Furuskog fantes nord for Varangerfjorden så langt øst som til Vadsø, og nord til Måsøy.

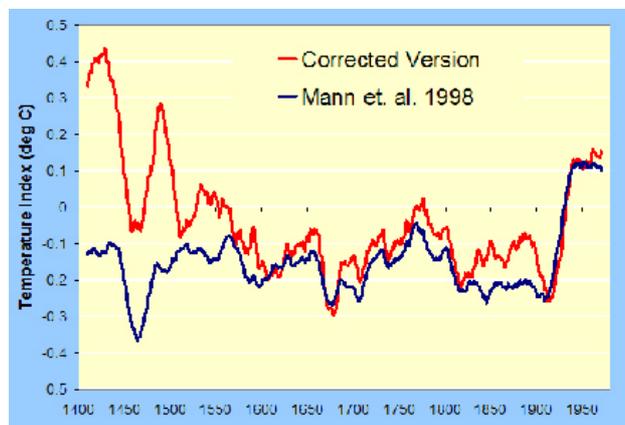
For 2-3000 år siden begynte en periode med kjøligere og fuktigere klima. Edellausvogene trakk seg tilbake og det var på denne tiden at grana begynte sin innvandring til Norge.

En analyse av temperaturutviklingen på den nordlige halvkule i seinere tid er vist i figuren under:



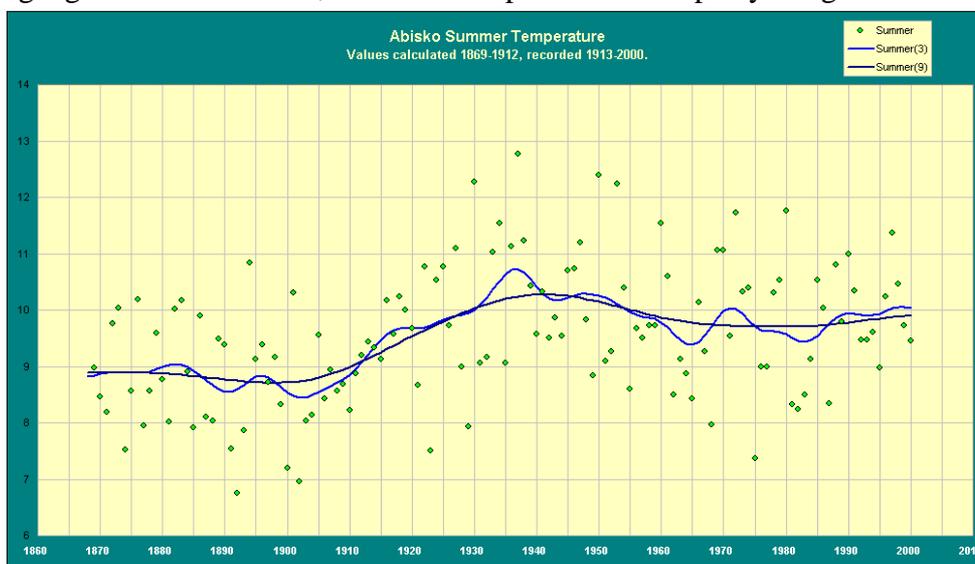
Denne kurven viser det beste anslag av hvordan den 50-årsmidlede temperaturen på nordlige halvkule har utviklet seg gjennom milleniet 1000-2000. Temperaturkurven er gitt som avvik fra gjennomsnittstemperatur for perioden 1961-1990. (Mann et. al. 1998)

Denne kurven, som blei presentert for noen år siden, har vært gjenstand for heftig diskusjon blant klimaforskere. En alternativ kurve (til h.) ser slik ut (McIntyre og McKittrick 2003): Usikkerheten øker naturlig nok når man beveger seg bakover i tiden, og diskusjonen går mest på om det siste tiåret er det varmeste på 1000 år, eller om det var en like varm eller varmere periode i middelalderen. Det hersker likevel liten uenighet om at det har vært en sterk økning i gjennomsnittstemperaturen i løpet av 1900-tallet.



For skogen er det imidlertid temperaturen om våren og sommeren som er mest avgjørende. Tregrensene nådde sitt lågeste nivå noensinne for ca 100 år siden i Sverige. Siden steig temperaturen og nådde en første topp i slutten av 30-åra da temperaturen hadde steget med mer enn 1° C over århundreskiftets bunnivå. Deretter blir klimaet igjen noe kjøligere (spesielt vintrene) før det etter 1987 avløses av en ny markant oppvarming. For vårmånedene har likevel 1900-tallet vært preget av en nesten ubrutt oppvarming og derigjennom en forlengelse av den snøfrie perioden. Gjennomgående for hele perioden etter 1915-20 har somrene vært 0,5-0,7° C varmere enn ved århundreskiftet.

Figuren under viser utviklingen i sommertemperatur ved Abisko forskningsstasjon i Nord-Sverige. Fra 1900 fram mot 1950 skjedde en markert temperaturøkning. Deretter er det en svak nedgang fram mot ca 1980, hvorefter temperaturkurven på nytt stiger.



Scenarier om framtidig klimautvikling

FNs klimapanel har i sin tredje hovedrapport lagt fram ny og sterkere dokumentasjon på at menneskelig aktivitet er den vesentligste årsaken til den globale oppvarmingen vi har sett de siste 50 årene. Klimagassenes levetid i atmosfæren og tregheter i klimasystemet gjør at vi, nær uansett hva vi måtte gjøre med klimagassutslippene framover, vil oppleve klimaendringer de kommende tiårene. Dette innebærer at de ulike biotiske og abiotiske systemene i framtida vil stå overfor endringer i en del faktorer som har betydning for deres funksjon. Dette vil igjen kunne medføre samfunnsmessige konsekvenser og behov for tilpasningstiltak.

Hva vil skje i Norge?

Fra 1876 til i dag har det, med unntak av Finnmarksvidda, vært en signifikant økning i temperaturen i Norge. Stigningen varierer fra 0,4 til 1,2° C avhengig av landsdel. Likeledes har den årlige nedbøren siden slutten av 1800-tallet økt med mellom 5 og 18%, varierende fra landsdel til landsdel.

En empirisk nedskalering viser at årsmiddeltemperaturen i ulike deler av Norge de neste 50 årene vil øke med 1,0 - 2,5° C. Ved empirisk nedskalering utarbeides statistiske sammenhenger mellom observasjoner av lokalklima og observerte atmosfæriske forhold på stor skala, som deretter benyttes til å utarbeide scenarier.

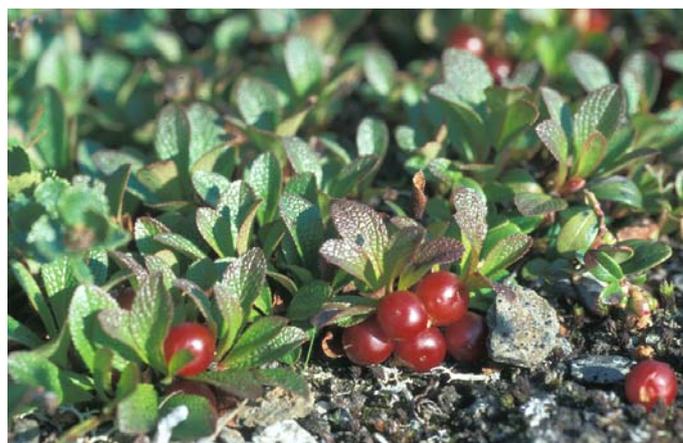
RegClim anslår at:

- Temperaturen vil stige mellom 0,2 og 0,5 grader/tiår og økningen blir størst i innlandet og om vinteren.
- Årsnedbøren vil øke de fleste stedene i landet, men den største økningen forventes om høsten og på Vestlandet. Våren kan bli mer nedbørfattig på Østlandet.
- Midlere vindhastigheter øker i vinterhalvåret over hele landet med den største økningen i Langfjellene og på kysten av Møre og Romsdal.

Basert på forventet klimautvikling tenker vi oss følgende (Solberg og Myking 2001):

- Frostskader. Østlandet er mest utsatt på grunn av størst økning i vinter/vårtemperatur, kort vinterhvile hos nordlige og kontinentale populasjoner av mange treslag og store naturlige temperatursprang.
- Tørkeskader kan bli et økende problem på Østlandet med mindre nedbør om våren, tidligere vekststart og høyere temperaturer. Bjørk og gran er mest utsatt.
- Rotavrivning og stormfelling, mest langs kysten, og spesielt i granplantefelt.
- Snøbrekk. Økende nedbør og mer vind om vinteren kan gi mer snøbrekkskader, spesielt i fjellskogen.
- Saltskader vil øke langs kysten som følge av sterkere vind om vinteren.
- Økt frekvens av klimaskader vil gjøre trærne mer utsatt for sekundære sopp- og insektangrep.

Klimaendringer vil få konsekvenser for enkeltarter av planter og dyr, og for hele økosystemer. Virkningene vil være størst for de arter som har sin utbredelsesgrense i våre områder. Arter som har sin grense for sørlig utbredelse i Norge vil kunne oppleve at leveområdet blir mindre ved at artene blir presset til kaldere områder i høyden og nordover. Arter i Norge som lever på grensen for sin nordlige utbredelse, vil kunne utvide sine områder nordover og i høyden. Noen arter vil miste sine nisjer og dermed kunne bli utrydningstruet.



Rypebær har sin nedre voksegrense i fjellskogen og vil bli pressa oppover med et varmere klima.

Einstape finnes på alle kontinenter, men har hos oss sin øvre voksegrense i fjellskogen og vil øke utbredelsen sin med et varmere klima.

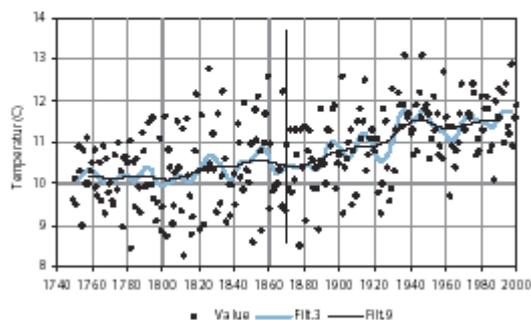
Ikke bare negativt

De fleste undersøkelsene fokuserer på de negative effektene ved klimaendringer. Det er likevel mange spørsmål knyttet til hvordan skogbruket blir berørt. De norske skoger har ei lang sone mot alpin sone der temperaturen er begrensende for trevekst. En temperaturøkning og forlengelse av vekstsesongen vil måtte føre til økt tilvekst i disse områdene, noe som kommer i tillegg til økning i skogarealet. Vi må også anta at en generell temperaturøkning vil øke nedbrytingen i humuslagene og derved frigjøre mer næring til trærne, særlig i nordlig og høgtliggende skog. Det vil følgelig bli produsert mer trevirke i norske skoger. De totale effektene er imidlertid uoversiktlige og vanskelige å forutsi.

Sommertemperaturer

Det er sommertemperaturen, nærmere bestemt gjennomsnittet av de tre varmeste månedene (tritermen), som er mest bestemmende for trevekst i skoggrensa. Utviklingen i sommertemperaturer i Norge (april-august) finnes i form av dagboknotater fra 10 gårder på Østlandet der modningstida for rug blei notert helt fra 1749.

Figur 1. Middelt temperatur april – august på Østlandet, for perioden 1749 – 1870 rekonstruert fra gardsdagbøker, og for perioden 1871 – 2000 basert på meteorologiske observasjoner. Den tjukke kurva gjev tiårsvariasjonane og den tynne kurva gjev variasjonane over tretti år.



Figuren viser at det skjedde en start på et temperatursprang i 1920-åra som fortsatte til slutten av 1940-åra. Siden da har ikke sommertemperaturen økt.

Størst lineær trend var det i det 20 århundre med en signifikant temperaturøkning sommerstid på 0,9° C.

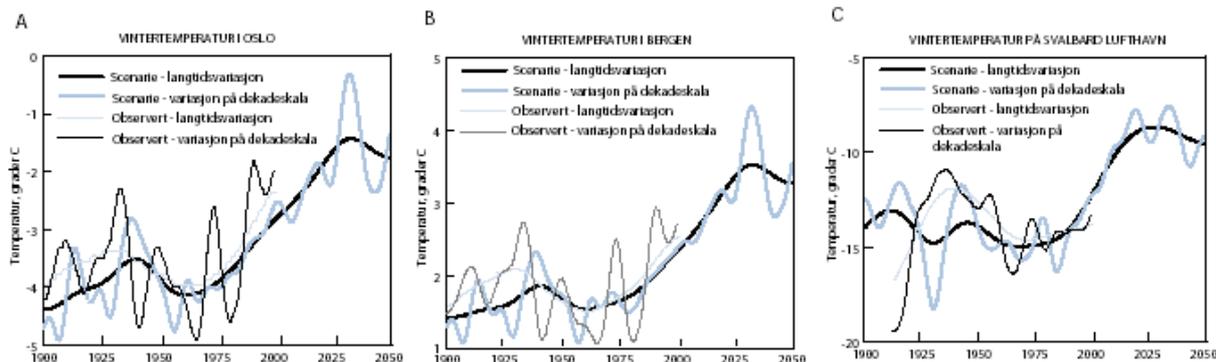
Fra Femundsområdet finnes en treingsserie som viser om lag de samme langtidstrendene som serien fra Østlandet.

I Sverige har man overvåket de sørlige fjelltraktene gjennom et nett av flere hundre lokaliteter fordelt over et 8000 km² stor område. Her finnes nøyaktige målinger av tregrensas beliggenhet og struktur på ulike tidspunkter fra begynnelsen på 1900-tallet. I tillegg til dette har man permanente prøveflater samt avfotograferte landskaps-scener fra faste punkter i terrenget. Tregrensa for bjørk, furu og gran har steget drøyt 100 m siden 1915 og fram til i dag. Siden sommertemperaturen avtar med 0,6° C per 100 m stigning, skulle en økning på 0,5-0,7° C føre til en heving av tregrensa på 100 m, hvis denne er i likevekt med klimaet. Det er nettopp dette som har skjedd.

Vintertemperaturer

Kombinasjonen lite snø og sterk kulde kan føre til kuldeskader og avdøying i tregrensa. Vinterklimaet er således ikke uvesentlig for skoggrenseutviklingen. Svenske undersøkelser har vist at trær i skoggrensa som er skadd og satt tilbake i kuldeperioder sist på 80-tallet, nå er i ferd med å revitalisere seg og fortettes.

Tidligere publiserte temperatur-scenarier for Norge tyder på at det er om vinteren vi kan vente størst temperaturøkning i de kommende 50 år. Nye beregninger fra RegClim bekrefter dette og antyder samtidig at temperaturøkningen vinterstid kan bli større enn tidligere beregnet en del steder i Norge (Hansen-Bauer et. al. 2001):



Figur 3. Observert og modellert tidsutvikling av vintertemperatur (des-jan-feb) på utvalgte steder. Tidsseriene er glattet slik at variasjoner på henholdsvis 10-års og 30-års skala kommer frem.

Nedbør

Vi må belage oss på mer nedbør, spesielt på Vestlandet og i Nord-Norge. Årsnedbøren vil øke i gjennomsnitt ca. 10 prosent for hele landet. Økningen vil være størst på Vestlandet, særlig sommer og høst. På Østlandet kan en faktisk oppleve en nedgang i nedbørmengden om våren, mens høsten er forventet å bli relativt fuktig. Det er verdt å merke seg at nedbørsøkningen skyldes mer intenst regn og ikke nødvendigvis flere dager med regn. På Vestlandet vil antall dager med nedbør over 20 mm øke med mer enn 6 dager i perioden fra september til november. Beregninger viser at vi i perioden 2030-2050 kan vente rundt 20 % mer nedbør på høsten i disse områdene sammenlignet med perioden 1980-2000.

Vind

Gjennomsnittlig vindhastighet ventes å øke litt de fleste steder i vinterhalvåret. Hyppigheten av stormer med stor skade vil øke noe, og da mest på kysten av Møre og Trøndelag. Med en forventet økning av temperaturen med 3-4 °C i vinterhalvåret vil det også forventes en økning i vindstyrker og stormhyppigheter. Med dette vil det også følge en økning i sjøsaltskader på skog langs kysten.



Skogen langs kysten er prega av vind og sjørøkk som kan gi saltskader. Slike faktorer vil kunne få økt effekt med et varmere klima med økte vindstyrker. Osen, Sør-Trøndelag.

Tiltak

I 2001 satte Norges forskningsråd ned ei tverrfaglig arbeidsgruppe som skulle vurdere forskningsbehov knytta til virkninger av og tilpasninger til klimaendringer i Norge. KlimaEffekt-programmet vil inngå i NORKLIMA som vil være et av forskningsrådets store programmer som igangsettes i 2004.

Målet for programmet er bl.a. å bedre kunnskapsgrunnlaget for å forstå og kvantifisere klimaendringenes betydning for Norge. Et av hovedpilarene for programmet skal definere behov for vitenskapelig basert kunnskap for sektormyndigheter som har ansvar for spesielle næringsinteresser eller andre samfunnssektorer og hensyn som kan tenkes å bli utsatt for relativt store konsekvenser av framtidige klimaendringer i Norge. I startfasen vil finansieringen hovedsakelig komme fra Miljøverndepartementet, Utdannings- og forskningsdepartementet, Landbruksdepartementet og Fiskeridepartementet.

Arbeidsgruppa mener at effekter på *skog og skogbruk* bør prioriteres, fordi de norske skoger utgjør en viktig del av det boreale skogområdet og dette økosystemet har sin klimatiske yttergrense både mot sør, nord og vest innenfor Norges grenser. Skogbruket har også stor distriktsmessig betydning. Videre har skogbruket en lang produksjonssyklus som gjør at effekter av klimaendringer på skog blir viktige. Slike effekter på skogen kan også ha viktige tilbakekoblingseffekter i forhold til klimaendringer.

Arbeidsgruppa peker på følgende kunnskapsbehov innen sektorperspektivet:

Skogsektoren:

- a. Økt risiko for skader på skog (vind, frost, snø, råte, insekter, kombinasjoner av disse).
- b. Endringer i foryngelsesforhold, tilvekst (fordelt på treslag og tømmerkvalitet) og konkurranseforhold mellom ulike treslag og organismer.
- c. Endringer i utbredelse og sammensetning av skogøkosystem, biologisk mangfold og forutsetninger for flerbruksforvaltning av skog.
- d. Skogsektorens rolle i karbonkretsløpet og med hensyn til utslipp av andre klimagasser enn CO₂.
- e. Utarbeidelse av analyseverktøy for studier av samfunnsmessige konsekvenser av endringer i skogøkosystemer og skogbrukssektoren.

Behovet for lange tidsserier, spesielt innenfor forskning på effekter av klimaendringer på biologiske systemer, er åpenbart. I mange tilfelle vil det ikke være mulig å framskaffe kunnskap om effekter av klimaendringer uten slike dataserier, eller å skille mellom naturlige variasjoner og antropogen påvirkning. Arbeidsgruppa fremhever derfor behovet for innsamling og systematisering av lange observasjonsserier. Det bør satses på god samkjøring mellom overvåkning og forskning. Mye av den beste forskning som har blitt gjort av norske forskningsmiljøer på klimaeffekter baserer seg på analyser av lange tidsserier fra overvåkningsprogrammer.

Skogens historiske utbredelse

Treslagenes innvandring

Bjørka var det første treslaget som vandret inn etter istiden for 10 000 år siden og dannet raskt en glissen skog. Samtidig kom også ospa. Etter ca 1000 år kom også furu og hassel.

For 7500 år siden, ved overgangen til atlantisk tid, kom de edle lauvtrærne i tur og orden til Østlandet, svartor og alm, så lind og eik. Furu blei fortrent til de skrinne voksestedene. Eføy og misteltein indikerte et varmt klima.

I subatlantisk tid (2500 år siden) kom en klimaforverring med kjøligere somrer og mer nedbør. Edellauvskogen gikk tilbake, skoggrensa sank sterkt og grana kom.

I varmetida ser det ut til at det var furu som for det meste dannet skoggrensa, som lå stort sett 300 m høyere enn nå. Etter hvert som skoggrensa sank, var det bjørka som blei skoggrensetre, den klarer seg med kjøligere somre enn furua.

De siste 2500 årene frem til i dag kalles subatlantisk tid med et kjølig og fuktig klima. Dette ga grana gode konkurranseforhold og førte til dagens grandominans over store områder. På grunn av lave temperaturer har likevel grana hatt en langsom utbredelse. I områdene omkring Trondheimsfjorden dannet dette treslaget bestand først for 700 – 800 år siden. Det finnes bare et par forekomster på Vestlandet som kan være naturlige eller er så gamle at grana regnes som et naturlig treslag. Den mest kjente er på Voss. Lengre syd har grana bare så vidt rukket frem til Vest-Agder. Heller ikke mot fjellet har arten rukket å innta alle sine mulige voksesteder.



Grana er fortsatt på vandring vestover på Sørlandet og erstatter gradvis furu- og bjørkeskogene her. Den etablerer seg først i kjølige og skyggefulle nordhellinger. Åseral, Vest-Agder.

Skoggrensas utvikling

Høgste tregrense under Holocene blei nådd for 7-8000 år siden i sørlige Skandinavia.. Furuskogene trakk seg deretter sakte tilbake fram til en kraftig klimaforverring (for ca 1300 år siden), satte skoggrensa omtrent der den er på dagens nivå.

Den lille istiden, ca 1550-1880, var en periode med global kjøling. Temperaturen i Nordvest-Europa var 1-2 ° C under 20. århundre standard. Foryngelsen i skoggrensa blei sterkt hemma og tregrensa for furu blei senket med minst 30 m.

Etter ca 1880 har den nordlige halvkule fått betydelig oppvarming i alle årstider. Dette nådde en topp på slutten av 30-åra. I Nord-Sverige reagerte alle treslagene med heving av tregrensa. Gjennomsnittlig heving var på 40 m. Enkelte steder var det en heving på mer enn 100 m, mens på vindutsatte lokaliteter forblei tregrensa uforandret.

Tregrensa for furu gikk mindre fram enn de andre treslagene. Trær som forynger seg både fra frø og vegetativt har respondert best. Bjørk og rogn reagerer raskt og viser topper i det varmeste tiåret, 1930.

Etter 1950 har en klimatisk nedkjøling karakterisert store areal på den nordlige halvkule, spesielt i den nord-Atlantiske region. Bjørkepopulasjoner i tregrensa har blitt mindre og mindre vitale og gran har fått betydelig nåletap, men lite avdøing. For alle treslagene er det tydelig at frøformering nær tregrensa har vært praktisk talt null i løpet av de siste to-tre årtier. 1987 var et spesielt kaldt år i Sverige i alle årstider. Tregrensa for gran fikk en ekstensiv fenotypisk nedgang regionalt. Denne prosessen strakk seg langt under tregrensa og berørte store areal av fjellskog. Lokalt blei også hele bestand av moden furu praktisk talt utrydda. Dette skjedde som resultat av kombinasjonen lite snø og sterk kulde, fulgt av sterk solinnstråling på våren, som resulterte i frosttørke. Nær tregrensa har 75-95% av trærne mista mer enn 60% av nålene. Dette støtter en generell hypotese om at det ikke bare er sommertemperaturen som styrer tregrensa, men at også metereologiske forhold vinterstid spiller en rolle.

Tydeligvis er rask, kuldeindusert avdøing hos gamle trær i nyere tid en mye oversett prosess i marginal boreal skog, for tiden ofte mistatt for å være effekter av forurensning (Kullmann, 1990). Tilbakegangen av tregrensa er ikke et isolert svensk fenomen. Flere studier fra ulike deler av nordlige halvkule indikerer økende klimastress og endog prematur død av bartrær.

Etter 80-tallet synes en viss nyetablering (spesielt furu) å ha funnet sted, samtidig som eldre, svaktvoksende trær fra 40- og 50-tallet har vokst kraftig i høyde. Foryngelseshastigheten har generelt økt, dvs. nye årsklasser av treplanter blir produsert med stadig tettere mellomrom. Resultatet har blitt at tidligere utglisna skoger med høgt antall kuldeskadde og døende trær har tetnet, blitt fornyet og vitalisert.

Framtidsscenarioer

Den antatte økningen i drivhuseffekten kan føre til at skoggrensene vil kunne heve seg til å nå et nivå som noenlunde tilsvarer forholdene under høyvarmetiden for 6-8000 år siden. Et treslag som bøk vil i særlig grad bli begunstiget, det samme gjelder platanlønn. Grana, derimot, vil som en østlig art med krav til vinterhvile, få begrenset sin utbredelse mot vest og sør. Kystplanter og sørlige, varmekjæreplanter vil øke arealmessig, mens fjellplanter og østlige arter som krever kald vinter vil minke arealmessig.

De mest gjeldende globale og regionale vegetasjonsmodeller antyder at opp til 30% av tundraen vil bli dekt av barskog i løpet av den perioden som atmosfærisk CO₂ blir fordoblet.

Endringer i forholdet tundra-taiga vil også føre til feed-backs fra landoverflaten til atmosfæren. Det skjer store endringer i CO₂-scenariene når det tas hensyn til at tundraen blir skogdekt. Dette vil øke bindingen av CO₂, samtidig som tidligere utsmelting av snø og nedgang i albedo fra nye skogområder vil føre til en betydelig oppvarming av den lavere atmosfæren. Overgang fra tundra til skog berører også evapotranspirasjonen slik at ferskvann som renner av via elver til havet kan minke. I tillegg påvirker menneskelig aktivitet det lokale klimaet.

Vi vet at skoggrensa har respondert på klimaendringer gjennom de siste 10 000 år, og vi forventer at den skal respondere på framtidige klimaendringer som skyldes global oppvarming. Imidlertid er klimaet bare en av flere faktorer som er under endring og en utfordring er å finne ut hvordan endringer i menneskelig innflytelse vil modifisere skoggrensas forventede respons til klimaendring.

Ved NIJOS (Strand 2002) er det gjort beregninger av areal som kan bli tresatt ved temperaturheving. Beregningene tar utgangspunkt i dagens skoggrensa og en generell antagelse om at temperaturen stiger 0,6° C pr. 100 m. Dette ga grunnlag for å summere opp hvor store areal som kan bli tresatt ved ulike temperaturhevinger. Beregningene er foretatt med enkle modeller og det er flere viktige forbehold som det ikke er tatt hensyn til. Likevel gir resultatene et anslag på hvor store areal som kan bli berørt.

Ved en temperaturheving på inntil 0,5° C kan man forvente at om lag 31557 km² kan bli tresatt. Dette utgjør 27,1% av dagens areal over skoggrensa. Ved en temperaturheving på ytterligere 0,5° C kan man forvente at ytterligere 23880 km² kan bli tresatt. Totalt vil over 55000 km² eller nær halvparten av arealet (47,6%) over skoggrensa kunne bli tresatt ved en temperaturheving på 1,0° C.



Ved en temperaturheving på 1 °C vil nær halvparten av arealet over skoggrensa bli tresatt. Skogen vil krype over toppen på fjellet i bakgrunnen. Rollag, Buskerud.

Klimaendringer og effekt på skogøkosystemer

En klimaendring vil få konsekvenser for enkeltarter av planter og dyr, og hele økosystemer. Virkningene vil være størst for de arter som nettopp har sin utbredelsesgrense i våre områder. Arter i Norge som lever på grensen for sin nordlig utbredelse vil potensielt kunne vandre vertikalt og horisontalt. Arter som har sin grense for sørlig utbredelse i Norge vil kunne oppleve at leveområdet blir mindre ved at artene blir presset til kaldere områder i høyden og nordover.

Klimaendringene vil altså kunne resultere i relativt store endringer i vegetasjonssammensetningen, insektsamfunn og fuglesamfunn. Dette vil være spesielt tydelig i randsonen mellom skog og fjell, i fjellskogen. Hvorvidt disse endringene påvirker det biologiske mangfoldet avhenger av hvilken tilpasningsevne artene og natursystemene innehar.

Endret vegetasjonssammensetning vil kunne få konsekvenser for utmarksnæringer som f.eks. beite og skogsdrift. Rent estetisk vil noen kanskje kunne oppleve endring i landskapstyper som negativt ved at nye landskapstyper er mindre severdige. Samtidig kan interaksjonen mellom ville arter og landbruk introdusere nye skadeorganismer til disse to systemene ved endrede klimatiske forhold. Forflytting av vegetasjonssoner samt et varmere og fuktigere klima kan resultere i gode etableringsforhold for uønskede skadeorganismer

Det er flere forhold som kompliserer studier av virkninger av klimaendringer for naturlige økosystemer. For det første så er det stor usikkerhet knyttet til hvordan klima skal beskrives på en relevant måte for arter og økosystemer. Økosystemene er komplekse i sin oppbygning og de mange interaksjonene mellom ulike prosesser er vanskelig å forstå. Samtidig er arter så forskjellige i hvordan de reagerer på klimaendringer at en generalisering blir vanskelig. For det andre har vi ikke fullgode tidsserier over biologiske trender. For å forstå samspillet mellom klima og økosystem og samfunn trenger en nettopp historiske tidsserier. Dette er helt avgjørende informasjon dersom vi ønsker å si noe om framtidig utvikling. Det er derfor et stort behov for å vedlikeholde og utvide eksisterende serier og etablere nye serier.

Klimaendring vil føre til en kraftig økning i skogarealet og tilhørende økt tømmerutgang. I hvilken grad den økte tømmerutgangen er økonomisk realiserbar er usikkert da en vil forvente en økt dødelighet som følge av økt vind og skadedyrangrep. Økt risiko kan skognæringen også oppleve som følge av høge temperaturer tidlig på våren, slik at risikoen for frostskaader øker. En forflytning av klimasonene nordover og oppover vil føre til en endring av skogens sammensetning. Naturen vil gradvis selekere de treslagene som best tilpasser seg de endrede forholdene. Dette innebærer en forskyvning av det boreale barskogbeltet nordover og oppover.

Det varmere klimaet virker i mange tilfeller indirekte gjennom påvirkning på snødekkets dybde, struktur og varighet. Snødekket framstår med andre ord som en nøkkelfaktor i modeller for vegetasjonens endringer i et endra klima.

Effekter på skogsjord og CO₂ – balanse

Av det totale lageret av terrestrisk karbon i Norge er hele 85% bundet opp i jorda og 10% er bundet opp i overjordisk biomasse i skog. Skogsjorda er effektiv mhp karbonbinding og 60% av karbonbindinga i jord foregår her. Boreale skoger antas å være det økosystemet som har

den største mengden bundet karbon, estimert til å utgjøre tilnærmet ¼ av den totale mengden karbon som er lagret i terrestriske økosystemer.

Næringstilgang, temperatur og fuktighet er bestemmende for jordas evne til binding og frigjøring av karbon. Plantene er hovedkilden for organisk materiale i jorda, og alt som påvirker planteveksten vil påvirke tilførselen av karbon til jord. Men i tillegg vil ulike faktorer påvirke nedbrytningen av det organiske materialet og det er nettopp balansen mellom tilførsel og nedbryting som bestemmer lagring av karbon i jord.

Økt temperatur og nedbør kan øke produksjonen gitt at det er tilstrekkelig med næringsstoffer i jorda. Økt temperatur vil generelt øke nedbrytningen av det organiske materialet i jorda, men denne effekten er avhengig av tilstrekkelig vanntilførsel. Blir det for tørt eller fuktig vil dette virke hemmende på nedbrytningen. Dessuten er jordtypen svært avgjørende for om akkumulering av karbon øker med økt nedbør og økt temperatur.

Det er med andre ord svært usikkert hvordan jorda i skog blir påvirket av klimaendringer. Det er samspillet mellom en rekke faktorer, som temperaturendring, fuktighetsforhold, biomasseproduksjon, nedbrytingshastighet, næringstilgang, atmosfærisk CO₂-nivå, m.m. som er avgjørende. Dersom utslipp av karbon gjennom nedbryting øker mer enn tilførselen, vil dette påvirke CO₂-balansen samtidig som økt mineralisering vil kunne føre til næringstap, utvasking og forsuring av jord, vann og vassdrag.



I nordlig og høgtliggende skog som ligger noenlunde uforstyrret i lang tid, går nedbrytningen av organisk materiale seint og det danner seg etter hvert mektige humuslag. En temperaturøkning vil føre til raskere omdanning av det organiske materialet med økt frigjøring av CO₂. Det svarte båndet rett over mineraljorda er kull, som viser at skogen og humuslaget har vært utsatt for skogbrann.

Skoggrensa som indikator på klimaendringer

I mange deler av verden, f.eks. Alpene og i Norge, har tregrensa i lang tid vært påvirket av ulike former av menneskelig aktivitet (beite, slått, avvirkning). Svenske tregrenser har bare i unntakstilfeller blitt forandra på denne måten og uttrykker derfor godt naturkreftenes spill.

Leif Kullman er professor i naturgeografi ved Umeå universitet og har i mer enn 30 år arbeidet med forskning om klimarelaterte forandringer i grenselandet mellom skog og fjell. Han mener at observasjoner av tregrensas dynamikk er en av de få metoder som finnes for å direkte dokumentere klimaets innvirkning på vegetasjonen. De fleste teoretiske klimamodeller spår dessuten at klimaets oppvarming blir størst på høge nivåer i nordlige områder. De alpine tregrensene blir derfor ideelle "varselklokker".

I Norge preges nåtidige fjellbjørkeskoger av ungskog. Mye skyldes suksessjon tilbake mot opprinnelig skogtilstand etter en kulturbetinget nedpressing. Men i tillegg viser sammenlikninger med gamle, ikke nedpressede skoggrenser fra tidlig i vårt århundre at skoggrensa for bjørk har gått markert opp også av klimatiske årsaker. For østlandsskogene er hevingen av de øvre, nær klimatiske bjørkeskoggrensene 40-50 m, i Nord-Norge er forskjellen enda større.

Bjørk formerer seg vegetativt, det gjør ikke furu. Under fluktuerende klimaforhold vil bjørkeskog i langt sterkere grad enn furuskog kunne følge opp med endringer i skoggrensenivå. Grana har evne til vegetativ formering og kan danne skoggrense 50 m over furua. Når setergreider kan bjørkeskogen ha blitt holdt nede så resultatet er blitt en kulturbetinget granskoggrense mot snaufjellet. Gode eksempler på dette kan påvises fra Lillehammerfjellet og vestover mot Hallingdal.



I områder med intensiv seterdrift har beiting av husdyr bidratt til å holde bjørkeskogen nede slik at det er grana som danner skoggrensa. Når beitinga opphører, vil bjørka på nytt krype oppover forbi barskoggrensa. Hemsedal, Buskerud.

For de øvre klimatiske skoggrenser er det temperaturforholdene i vekstsesongen som er utslagsgivende. Tritermen, gjennomsnittet av de tre varmeste månedsmidlene (juni, juli, august), gir et godt uttrykk. Særlig fra 1930 til 1955 lå tritermen høgt, noe som muliggjorde god frømodning i skoggrensenivå, med etterfølgende spredning og spiring ovenfor de daværende skoggrenser. Foreløpig tyder skoggrenseundersøkelsene i Sør-Norge på at de skoggrenser som ble etablert på 1960-tallet, og som kan knyttes til det gunstige klimaet 1930-1955, senere ikke er hevet. Det er usikkert hvor sterk innvirkning endra arealbruk har hatt på denne situasjonen.

Sammenhenger med tidligere klimavariasjoner

I klimatisk marginale populasjoner er aldersstrukturen antatt å reflektere variasjoner i foryngelse og dødelighet som skyldes tidligere klimaforhold. Aldersstrukturen hos større trær indikerer at foryngelsen i Nord-Sverige økte for 60-70 år siden, noe som samsvarer med oppvarmingen mellom 1910 og 1940 (ca 1,5 °C). Aldersstrukturen dokumenterer en økning i rekrutteringen i første halvdel av 19. århundre, fulgt av en lang periode med dårlig rekruttering fram til begynnelsen på 20. århundre. Dette mønsteret tilskrives klimavariasjoner på den tiden.

En hovedforskjell mellom klimabetinga migrasjoner av trær i tidligere tider og de som kan forventes i framtida, er den store hastigheten i den seinere klimaendringen. Den tempererte sones juli-isoterm er ventet å bevege seg nordover med 4-6 km årlig.

Tre faktorer er viktige i migrasjonsprosessen: Frøtransport og etablering av frøplanter; kjønnsmodning hos individer; og modning hos populasjoner i lukket bestand.

Noen populasjoner har skarpe grenser. Disse er avhengige av regelmessig frøtransport, 10-100 m, fulgt av noen tiår før kjønnsmodning før neste 10-100 m skritt kan tas. Mer sjelden oppstår lokale bestand som følge av frøtransport over lange avstander. Da blir grensene mer uklare med avgrensa bestand utafør hovedpopulasjonen.

I en doktoravhandling ved NTNU (Solberg 2003) er det undersøkt hvordan klimaendringer i de siste 200 årene har påvirket veksten av gran og furu, og hvordan et framtidig varmere klima vil kunne innvirke på disse artene. Det er brukt treringanalyser for å studere effekten av klimavariasjoner på veksten til gran og furu. Arbeidet har foregått langs en kyst/innland-gradient i Nord-Trøndelag. Videre er det inkludert treringserier fra Sverige og Finland. Ved kysten og i lavlandet gir milde vintre mangel på eller et ustabil snødekke, og her reagerer gran negativt på høyere vintertemperaturer. Furu reagerer ikke slik på vinterklima; tvert imot, i kontinentale deler av Fennoscandia trives furu i mildere vintre. Det er nærmest et generelt mønster at furu fra kysten av Trøndelag i vest og Finland i øst viser en tilnærmet motsatt respons på klima.

Et annet aspekt som trer fram gjennom arbeidet, er at klimaets innvirkning på veksten varierer gjennom tiden i takt med klimavariasjoner. Dette indikerer at klimaets innvirkning på treveksten i en gitt tidsperiode trolig ikke vil være likedan i en annen tidsperiode med et noe annet klima.

Ut fra dette synes det vanskelig å framskrive utviklinga i skoggrensa bare ut fra historiske data og korrelasjoner.

Svenske undersøkelser

Mange trær og busker har økt sine høgdegrenser i den jämtlandske fjellverden med 150-250 m i løpet av de siste 50 årene.

Området ved Sylene-Snasahøgdene-Geitryggen og Åreskutan i Jämtland har vært studert i 30 år og sammenliknet med undersøkelser av artenes høgdegrenser i samme området fra 1955. Planter av gran, furu, bjørk, gråor, rogn og hegg blei funnet 200-250 m høyere enn i 1955.

Edle lauvtrær som eik, alm, svartor, hassel, lind og lønn finnes nå lengre opp og lengre mot nord. Også contortafuru har spredd seg milevis fra plantefelt. Det er ikke usannsynlig at contortafuru på lang sikt kan få betydelig økt utbredelse, kanskje over furuas tregrense. Det samme gjelder sibirisk lerk.

Fjellkrekling, blokkebær og tyttebær syntes ikke å ha flyttet seg oppover, mens flere urter som gullris, geitrams, engsoleie og hestehov finnes nå 150 m høyere. Arter som fjellburkne, musøre, setergråurt, trefingerurt og fjellmarikåpe blir konkurrert ut av smyle og sølvbunke.

Fjellenes plantesamfunn synes langt mer dynamiske og følsomme for kortvarige klimaepisoder enn hva man vanligvis har tenkt seg. Mye tyder på at betydelig forskyvning av høgdegrensa kan skje på kort tid, noe som innebærer at ihvertfall visse arters utbredelsesgrenser kan lykke å holde følge med klimaets framtidige bevegelse. Dette styrkes ved at flere arters høgdegrenser blei senket i forbindelse med den kjølige episoden som kuliminerte i slutten av 1980-tallet.

Sårbare økosystemer, gode indikatorer

Trebestand som nå ligger lengst mot nord eller høgest mot fjellet, kan sees på som overlevninger etter tidligere tettere skog da klimaforholdene var mer fordelaktige. Strukturendringene, som endringer i frøforsyning, trærnes overlevelse og vitalitet, er resultater av naturlige klimaendringer. Dette skyldes naturlige variasjoner i f.eks. sommertemperatur, nedbør, permafrostepisoder, vinterskader og insektangrep. Slike endringer i miljøforhold har fått skoggrensa til å fluktuere fram og tilbake i høgde og breddegrad.

Grensa mellom den boreale skogen og tundraen/fjellet markerer et klart skille både i artssammensetning og i livsformer. Global klimaendring kan endre artssammensetning og livsformer og restrukturere økosystemet. Dette betyr at høgde og breddegrad for ulike grenser kan endres i framtida. Grensene har beveget seg fram og tilbake gjennom tiden, avhengig av rådende klimaforhold. Selv om det er en forsinkelse i artenes reaksjon på klimaendringer, er tregrensas vegetasjonssamfunn sensitive indikatorer på



Skoggrensa representerer en delikat balanse mellom motstridende krefter og har opp gjennom tidene fluktuert fram og tilbake i høgde og breddegrad. Vinje, Telemark.

klimaendring. Skog - tundra økotonen representerer en delikat balanse mellom motstridende krefter og vil derfor bli endra selv ved små endringer i klimaet.

Vegetasjonen endrer seg kontinuerlig for å tilpasse seg sitt abiotiske miljø, spesielt klimaet. Grensene for betandstetthet i tid og rom kan sees på som en potensiell *klima-vegetasjon ekvilibrium-linje* (Hofgaard 1997). Alle forstyrrelse vil bevege posisjonen til et økosystem i forhold til linja. Samtidig endrer ekvilibrium-linja seg med stor-skala klimaendringer. Uten forstyrrelser vil økosystemet avvike fra ekvilibrium. Dette skjer ved prosesser som tillater bestand å vedvare under barske klimaforhold (tilpasninger). Etter hvert som avstanden mellom økosystemforholdene og ekvilibrium øker, blir økosystemet en relikv av tidligere forhold. Følgelig blir effekten av en forstyrrelse større enn for vegetasjon i ekvilibrium. Under slike forhold vil ikke økosystemet regenerere til dets tidligere posisjon, men istedet i ekvilibrium med tidens klima. Episodiske forstyrrelser slik som insektangrep eller brann kan være årsak til at skog forsvinner enten midlertidig eller mer permanent, avhengig av om skogen før forstyrrelsen var i ekvilibrium med det rådende klimaet eller en relikv av et tidligere klimaregime.

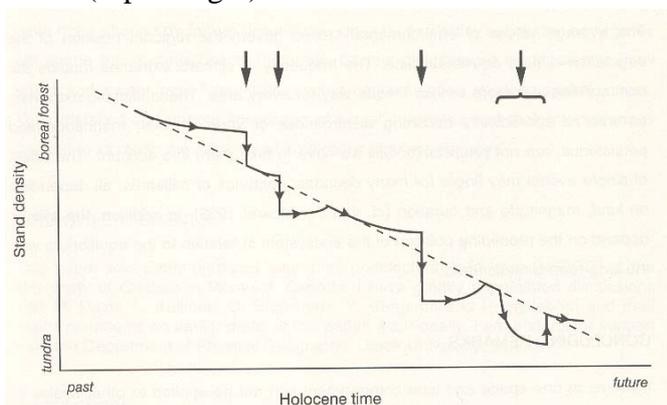


Figure 1. Stand density change in forest-tundra ecotone over long and short time scales. The dotted straight line shows theoretical stand density in equilibrium with the long-term climate trend. This equilibrium line slopes downward with time, because climate has undergone a steady deterioration at these latitudes throughout the mid- and late- Holocene. Actual stand density (solid line) departs from the theoretical equilibrium line due to inertia or response to disturbance. Disturbances are shown by the vertical arrows. Single arrows indicate episodic disturbances, and arrow and bracket chronic disturbance.

Antropogen påvirkning

Kroniske forstyrrelser slik som beiting og klimastress, kan tvinge samfunn inn i en lav tetthet over lange perioder inntil forstyrrelsen opphører. Da vil gjenvoksing ta raskt til gjennom revitalisering og regenerering. I tilfellet beiting, kan denne prosessen i skoggrensa lett bli mistolket som et resultat av klimaendring istedet for en endring i arealbruk. Det er helt nødvendig å skille antropogen fra klimatisk påvirkning på den nåværende skoggrensa. En fornuftig måte å oppnå dette på er å bruke omfattende analyser av bestandshistorie og detaljert langtidsovervåking av faste flater.

En undersøkelse fra skoggrensa i Møre og Romsdal (Hofgaard 1997) viser at kontinuerlig forekomst av bjørkeforyngelse over tregrensa indikerer at frøtilgang og jordsmonnsforhold ikke er begrensende for bjørk i området. Imidlertid har bjørka blitt hemma av stadig beiting av sau. Redusert beitetrykk vil sannsynligvis føre til økning i høgdetilvekst på bjørka. Høgere bjørk vil endre snøforholdene og legge til rette for ytterligere tilvekst av bjørk. Denne prosessen vil føre til til rask endring i skog-tundra økotonen, inkludert en endring i tregrensa for bjørk. Det er sannsynlig at dette lett kan bli mistolket som en effekt av klimaendring.

Den nåværende posisjon og opptreden av den alpine tregrensa skyldes en kompleks samvirkning av tidligere og nåværende klimaforhold, naturlige forstyrrelser, og menneskelig arealbruk. Økotoner har lav resistens overfor klimaendringer, og disse samfunnene har sensitive indikatorer på endringer i miljøforhold.

Skoggrense og tregrense

Definisjoner på skoggrense og tregrense

Internasjonalt har man ikke klart å samle seg om noen entydig definisjon på skoggrensa og tregrensa. Mye av årsaken til dette ligger nok i at det er ulike faktorer som styrer skoggrensa i ulike deler av verden, og det er ulike treslag og vekstformer som danner skoggrensa. Noen bruker kronedekning som måleenhet, andre bruker m³/ha og atter andre trehøgder og tetthet. FAO's definisjon av skog er som følger:

Kronedekning på minst 10%, trehøgde 5m og minsteareal på 0,5 ha.

Men heller ikke i Norge finnes det noen samstemt definisjon av skoggrensa. Så lenge det brukes uklare og ulike definisjoner er det vanskelig å stedfeste nøyaktig skog- og tregrenser ut fra tidligere undersøkelser.

I 1937 definerte de senere professorene E. Mork og H. H. H. Heiberg overgangen mellom skog og det trebevokste arealet over skoggrensa slik: *“Skoggrensen har vi definert som det sted i fjellskogen hvor avstanden mellom de enkelte trær, som må være minst 3 m høie, blir større enn 30 m. Tregrensen er grensen for spredtstående trær som minst har en høide på 2 m.”* I dette ligger antakelig en forståelse for at det mellom de spredtstående trærne også er trær på under 3 m høgde som er med på å påvirke vegetasjonen i botnen. Da nærmer vi oss professor Nordhagens definisjon: *“Med skog menes da over mannshøye bjørketrær, som ikke er lengre fjernet fra hverandre enn at de fysiognomisk virker som et skogholt, og som økologisk påvirker bunnvegetasjonen ved skygge og lauvfall”*. I vegetasjonskartleggingen har NIJOS konkretisert denne verbale beskrivelsen slik: *“Trær som minst er 2,5 m høge og som har minst 25% kronedekning på arealet.”* Dagens økonomiske kartverk setter kravet til minst 6 trær per dekar, og at trærne skal kunne nå en høyde på minst 5 meter. Denne definisjonen er imidlertid moderert en del for areal som ligger opp mot fjellet og ut mot kysten der *“det finnast lauvskog som ikkje held kravet til trehøgde (5m) for å bli rekna som skog”*.

Kategori	Snaumark	Trebevokst areal		Skog	
Definisjon	Trær under 2 – 2,5 m høgde og som har under 25% krone-dekning	Spredtstående trær som minst har en høgde på 2 m	Mindre enn 30 m avstand mellom trær som er minst 3 m høge	Trær som er minst 2,5 m høge og har minst 25 % kronedekning	6 trær per dekar som er eller kan bli 5 m høge
Opphav	NIJOS	Mork og Heiberg	Mork og Heiberg	NIJOS	Økonomisk kartverk

Skoggrensenivåer

Den viktigste enkeltfaktoren som styrer grensa for vekst av trær er temperaturen i vekstsesongen (Strand 1961):

Treslag	Krav til sommervarme (tetratermen)
Bjørk	7,5
Osp	7,6
Hegg, or, rogn	7,7
Furu, gran	8,4
Alm	11,2
Ask, svartor	12,4
Lind, lønn	12,5
Eik	12,6
Bøk	13,4

Trærne har også et "kuldekrav", f.eks. forekommer ikke gran naturlig i Sør-Sverige, her er temperaturen for høg til at grana får den vinterhvilen den trenger.

Tetratermen faller i gjennomsnitt med $0,43^{\circ}$ C for hver breddegrad en kommer nordover, med $0,6^{\circ}$ C for hver 100 m i høgde, og øker med $0,5^{\circ}$ C for hver 100 km en fjerner seg fra kysten (forutsatt at øvrige faktorer holdes konstante).

Furu går opp til 900-1000 m i Sør-Norge, i indre Trøndelag til 650 m og ved polarsirkelen maks 400 m oh. I Lærdal og Borgund går den til 800-900 m, på Haugesudhalvøya til 400 m oh. Bjørk går høgest der landet har høg gjennomsnittshøgde, og synker utover. Sikkilsdalshø har bjørk på 1203 m, mens på Hommelfjell er det bjørk på 1000-1020 m, og i V. Slidre 1050-1100 m.

Skoggrensa danner som regel en uregelmessig sone der tretettheten gradvis avtar, samtidig som trehøgdene minker. Der trærne blir for små og står for langt fra hverandre til å kunne kalles skog, går skoggrensa. Enkeltindivider av trær kan likevel gå langt over denne grensa. Der slike individer ikke lenger når en høgde på 2 m, brukes uttrykket buskgrense ("krummholz"). Endog over denne grensa kan vi finne små individer av trær, som ikke når 2 m høgde og bare finnes hist og her på gunstige plasser. Øverste grense for disse kalles artsgrense. Gran er for eksempel funnet ved 1350 moh, og furu over 1400 moh.



Der trærne blir for små og står for langt fra hverandre til å kunne kalles skog, går skoggrensa. 1100 m oh., Ringebu, Oppland.

Skoggrenser og tregrenser - noen viktige norske definisjoner

Artsgrense:

Øvre grense for frøplanter og små busker. Slike kan finnes langt opp i lavalpin region. Slike forekomster vil dø ut etter at de har nådd en viss størrelse.

"Krummholzgrense" (buskgrense):

Småvokst (mindre enn 2 m høge) kratt. Forekomsten og utbredelsen av dette er lite kartlagt i Norge. Buskgrensa vil kunne nå opp til ca 50 m over tregrensa (Sogn).

Tregrense:

Ulrike kriterier har vært brukt for hva som er tre. Mork og Heiberg bruker 2,5 m, mens de fleste har satt grensa ved 2 m.

Klimatisk skoggrense:

Øvre grense for hvor høgt mot fjellet eller langt mot nord det kan vokse skog.

Høgdeforskjellen mellom tre- og skoggrensa er relativt liten i kontinentale områder, mens det i mer humide strøk kan være over 50 m.



Den klimatiske skoggrensa består på Østlandet av et bjørkebelte over barskogen. Hemsedal, Buskerud.

Empirisk skoggrense:

Der skoggrensa er bestemt av edafiske eller topografiske forhold, eller av kulturpåvirkning. Denne kan ligge langt under den klimatiske skoggrensa.



Her har sterk husdyrbeiting gått hardt utover bjørkeskogen, slik at glissen granskog danner empirisk skoggrense mot fjellet. Vinstra, Oppland.

Økonomisk skoggrense:

Definert ut fra hvor reproduksjon etter hogst kan være truet.

Øvre grense for nordboreal sone (klimatisk skoggrense):

Følger utbredelsesgrensa for en rekke arter, bl.a.:

skogburkne, engkvein, jordbær, blåtopp, trådstarr, maiblom, firblad, linnea, småtveblad, gråor, sumphaukeskjegg, nikkevintergrønn, stormarimjelle, bringebær.



Bringebær går nå opp til den klimatiske skoggrensa og vil kunne øke utbredelsen sin ved et varmere klima.



Blålyng har sin nedre grense i nordboreal sone og vil få sitt vokseområde innsnevra når temperaturen stiger og skogen kryper oppover mot fjellet.

Nedre grense for nordboreal sone:

Følger nedre grense for en rekke alpine arter, bl.a.: rypebær, blålyng, greplyng, rabbesiv, svarttopp, trefingerurt, dverggråurt.

Nordboreal sone er også øvre grense for arter med svakt sørlig utbredelse i Skandinavia, bl.a.: fingerstarr, trollbær, einstape, skogsvinerot, skogfiol, snerprørkvein, trollhegg, pors.

Ulike typer skoggrenser

Skoggrensa er sjelden skarp. Oftest vil den følge terrenget og gå høgere i sør-hellinger enn i nordhellinger. Gode vekstbetingelser for øvrig fører også til en heving av skoggrensa, slik at den går høgere på næringsrike bergarter, som fyllitt og kalkrike bergarter, enn hva den gjør på næringsfattige bergarter, som sparagmitt. Undersøkelser har vist at dette kan dreie seg om så mye som 100 m.

I Norge finnes skoggrensa mot tre skogløse arealtyper: alpine heier, arktiske heier og kystheier.

Alpin skoggrense

Dette er den vanligste i Norge. Som regel er det bjørk som danner skoggrensa, men noen steder kan både gran og furu være skoggrensedannende treslag. Alpin skoggrense faller sammen med øvre grense for nordboreal vegetasjonssone og da snakker vi om den klimatiske eller potensielle skoggrensa. Den empiriske eller aktuelle skoggrensa kan ligge på et langt lågere nivå.

I mange områder er det arealbruken med setring og hogst som har bestemt hvor skoggrensa går. Dette kan også påvirke treslagssammensetningen slik at i intensive seterområder blir bjørka holdt nede av beitedyr, mens grana ikke beites og danner den aktuelle (empiriske) skoggrensa.

Endringer skjer raskt i den aktuelle skoggrensa når den er betinga av arealbruk og arealbruken endres eller opphører. Klimaforholdene er her ikke begrensende for trevekst og foryngelsen kommer både vegetativt og fra frø, og fra forhåndsgjenvekst som har blitt holdt nede av beiting. I løpet av ganske få år, raskest på næringsrik mark, langsommere på skrinne mark, vil rommet mellom den aktuelle og klimatiske skoggrensa være fylt med trær.

Jordbunnsforhold kan også være årsak til at den aktuelle skoggrensa er trykt nedover i forhold til den klimatiske. Spesielt er dette merkbart i strøk med store, sammenhengende myrareal i skoggrenseområdet, noe som er vanlig i kystnære fjellstrøk. På myr er det ingen markert plantegeografisk grense mellom skog og fjell, slik tilfellet er på fastmark med tresjikt som påvirker vegetasjonen.

Arktisk skoggrense

Lengst nord i Finnmark finnes små areal som ligger nord for den klimatiske skoggrense. Dette er sørarktisk sone, eller tundraen. De nordligste forekomstene av bjørkeskog utgjør den arktiske skoggrense. Lenger nord kan finnes enkelttrær og vierkratt på spesielt gunstige lokaliteter.

På den nordlige halvkule utgjør den arktiske skoggrensa enorme areal, spesielt i Russland og Canada, og denne økotonen mellom taiga og tundra er interessant for mange forskere, og et aktuelt område å overvåke for å finne effekter av klimaendringer. Her finnes også områder hvor arealbruken har vært relativt beskjedent, slik at skoggrensa er i stor grad klimatiske betinga.

Skoggrense mot havet

Kystlynghei med dominans av røsslyng finnes i de ytterste kyststrøkene fra Kristiansand til Lofoten. Kulturbetinget hei finnes også lenger nord, men er her dominert av fjellkrekling og har ikke vært gjenstand for regulær lyngheidrift. Kystlyngheiene er kulturbetinget, oppstått gjennom avskoging, brenning, vinterbeiting og lyngslått. Dannelse av kystlynghei er gjennom pollenanalyser fulgt ca 4000 år tilbake i tid. Arealet har variert, størst utbredelse hadde de rundt midten av 1800-tallet.

Opphør av tradisjonelle driftsformer eller for svak utnyttelse av lyngheiene har ført til omfattende endringer i dem. Den største trusselen er naturlig gjengroing med busker og trær. Kystlynghei er i dag en truet naturtype i Norge.

De tidligere åpne lyngheiene er nå i ferd med å gro til med gras, kratt og skog. Tysvær, Rogaland.



Arealbruk i skoggrensa

Menneskers bruk av areal har i lang tid vært en viktig faktor i utviklingen av skoggrensa. De viktigste aktivitetene har vært seterdrift og beiting, tradisjonelt skogbruk, virkesuttak i forbindelse med kullbrenning og gruvedrift, og virkesuttak til anleggsvirksomhet. Trærne i skoggrensa er sårbare for påvirkninger av ulike slag og regenereringen går seint. I hvilken grad disse aktivitetene har styrt utviklingen av skoggrensa og treslagfordelingen er vanskelig å måle i forhold til klimaets innflytelse.

Seterdrift og beiting

Spor etter seterbruket finner vi helt tilbake til bronsealderen i Norge og Norden. Rundt 1850 var det ca. 90 000 setrer i Norge. I begynnelsen av dette århundret startet nedgangen for seterbruket. I 1999 var det 1738 setrer i drift.

Fra 200-tallet og i de følgende århundrene ekspanderte jordbruket kraftig og marginale jordbruksområder blei tatt i bruk. Denne kraftige ekspansjonen i jordbruket må ha påvirket skogbildet. I fjellet i Sør-Norge finnes hustuffer fra denne tiden som må være knytta til setring.

På 700-tallet og framover skjer en forbedring av klimaet og på ny skjedde en kraftig ekspansjon av jordbruket og bruken av utmarka. Dette førte til at seterbruket ekspanderte i skog- og lågfjellsområder. Jernproduksjonen økte kraftig og ovnene blei fyrt med trekull. I middelalderen var husdyrholdet omfattende og utslåtter og lauving var vanlig.



Nedgangen i seterbruket fører til at setervoller gror igjen. Samtidig reduseres beitetrykket i skoggrensa og bjørkeskog kan etter hvert etablere seg mot det klimatiske skoggrensenivået. Hemsedal, Buskerud.

Tradisjonelt skogbruk

På slutten av 1500-tallet var Norge Europas største eksportør av trelast, et forhold som varte fram til begynnelsen av 1800-tallet. Tømmeromsetningen innenlands fikk et kraftig løft med utviklingen av papir- og celluloseindustrien i 1870-åra. Dette gjorde at det ble lønnsomt med avvirking også av forholdsvis små dimensjoner, og førte til sterk utnyttning av fjellskogen mange steder. I tillegg til det virkesbehovet som fulgte med seterdriften, finnes tallrike spor etter hogst i fjellskogen, som kan ha påvirket treslagsfordelingen når det ikke ble satsa tilstrekkelig på foryngelse. Særlig kan dette ha medført en favorisering av den mer skyggetålende grana på bekostning av furu. Noen steder har også flatehogst opp mot skoggrensa vært årsak til lokal senking av barskoggrensa.



Virke fra fjellskogen blei frakta på store og små elver der dammer og forbygninger gjorde fløtningen sikrere.

Nå er den øvre delen av fjellskogen definert som vernskog og hogsten er regulert ved at det er innført meldeplikt for all hogst i vernskog (skog som på grunn av sin beliggenhet opp mot fjellet, ut mot havet eller høgt mot nord har så vanskelige foryngelsesforhold eller så liten veksterlighet at den kan ødelegges ved mishandling eller feilaktig hogst).

Den øvre delen av vernskogen mot fjellet skal nå gjensettes som et urørt belte der det ikke er aktuelt med noen form for hogst med unntak av hogst av ved til husbehov.

Nedenfor det urørte beltet skal det være ei sone der det bare er aktuelt å hogge enkelttrær der foryngelse er sikra. Denne sona består oftest av uproduktiv skog.

I den lavestliggende delen av vernskogen skal hogst tilpasses de lokale klimaforholda.

Kullbrenning og gruvedrift

I eldre jernalder, fra 200-tallet og i de følgende århundrer, skjøt jernutvinninga fart, særlig i Trøndelag og på Vestlandet. Jernvinna brukte i stor grad furu som brensel og den omfattende produksjonen må ha påvirket vegetasjonsbildet kraftig. Den kraftige hogsten i fjellskogen for å skaffe brensel til jernvinn, kan allerede nå ha flytta skoggrensa nedover.

Størst omfang hadde den norske bergverksindustrien på 1700-tallet. Verkene hadde stor etterspørsel etter trevirke. I løpet av en tiårsperiode forbrukte Røros kobberverk trevirke som tilsvarer mellom 30 og 50 km² skog. Med den voksende industrialiseringen vokste det fram andre bedrifter som også trengte trekull. Rundt alle disse verkene fantes et stort antall kullmiler. Den harde utnyttningen førte til lokal avskoging. Det gikk også hardt utover

Kullgrop er den eldste kjente formen for kullbrenning og de var knytta til jernvinning og smiing. Koppang, Hedmark.



kystskogen, ikke bare til skurtømmer og trekull, men også mange andre formål. På 1700-tallet blei derfor vidstrakte områder på Sør- og Sør-Vestlandet avskoget.

Det finnes i Norge flere eksempler på omfattende avskoging som følge av virkesbehov i forbindelse med gruvedrift og kullbrenning. Rørosvidda er kanskje det mest kjente eksemplet der skoggrensa blei kraftig senket og først i seinere tid er i ferd med å bli skogkledd igjen.

Jernutvinninga hadde i middelalderen et formidabelt omfang. I tillegg blei det vunnet ut tjære. Den omfattende uthoggingen av fjellskogen som fulgte med jernutvinningen, har sikkert flytta skoggrensa nedover i store områder på Østlandet (Jacobsen og Follum 1997).

Anleggsvirksomhet

Det foreligger få opplysninger om dette, men det er i Nord-Sverige påvist at furuskoggrensa blei trengt kraftig tilbake som en følge av sterk utnytting av furu i forbindelse med anlegging av jernbanen i slutten av 1800-åra. Den har ennå ikke nådd opp til sin tidligere utbredelse.

Foryngelse av trær i skoggrensa

For å få god frømodning på gran og furu må sommertemperaturen (tetratermen) være minst 10° C. Unntaksvis kan frømodningen bli bra om temperaturen ligger noe under dette. Året før blomstring skjer en differensiering av knopper der trærne lager knopper med anlegg for hann- og hunnblomster i tillegg til de vanlige skuddene. Særlig ved høge temperaturer blir det anlagt mange blomsterknopper, ved låge temperaturer mest vanlige knopper. Det er derfor en sammenheng mellom temperaturen i differensieringsperioden og blomstringen neste vår slik at en varm sommer etterfølges av rik blomstring. Sør i landet er varmen i mai-juni avgjørende, lenger nordover (og mot fjellet) betyr julitemperaturen mer. Dette gir seg utslag i mindre frøsetting i nordlige strøk enn lenger sør, og minsket frøproduksjon oppover mot fjellet. Dette gjelder i noe mindre grad for furu enn for gran.

Frøspredning

Frøfallet avtar sterkt fra bestandskanten. For furu er frøfallet midt på ei 100 m brei flate bare fjerdeparten så stort som ved bestandskanten. For gran er frøfallet 20-30 m fra bestandskanten ofte bare tiendeparten av inne i bestandet. I tillegg er det ofte tomme frø og lette frø av dårlig kvalitet som når lengst.

I fjellet kan frø fyke langt på skareføre, det er funnet gran- og furufrø kilometervis fra nærmeste tre. På Ladogasjøen blei det sett betydelige mengder granfrø 8 km fra land, og enda i 15 km avstand var det atskillig frø. Tilfeldig frøspredning over lange avstander spiller en stor rolle for treslagenes utbredelse, men er uten verdi i praktisk skogskjøtsel.

Spiring

De fleste skogstrærne kaster frøet så seint at spiringen skjer først neste år. Frø som er i hvile tart ingen skade av flere gangers oppbløting og uttørking. Er først spiringen begynt og kimrota er kommet ut gjennom frøskallet, kan selv en kort tids tørke være skjebnesvangert.

Forsommertørke er ofte til hinder for frøspiringen. I tørre somrer kan spiringen skje så seint at plantene ikke rekker å innvintre skikkelig før frosten kommer.

Spring hos skogstrær skjer først ved temperaturer over 8-10° C og både spireevne og hastighet øker opp mot 30° C. Gran- og furufrø spirer best i temperaturintervallet 20-25° C.

Fuktighetsforholdene er best i moldjord og dårligst i lite omdanna humus. Jo tydeligere humuslaget ligger som ei matte oppå mineraljorda, desto dårligere er vannforbindelsen mellom de to sjiktene og fuktighetsforholdene i humusen svinger derfor sterkt med nedbør og varme i lufta. Er det jevn nedbør og varmt vær, kan det bli bra spiring selv om humussjiktet er ugunstig, men inntreffer det forsommertørke, byr slike humusforhold på meget dårlig spireleie.

Vegetativ formering

Stubbeskudd kommer fra sovende knopper og er vanlig hos de fleste lauvtrær, men har størst betydning for bjørk, or og eik. Disse skuddene lever på de gamle røttene i lang tid og vokser svært raskt.

Rotskudd kommer fra knopper som dannes inne i røttene og er mest vanlig hos osp og ser ut til å gi fullt tilfredsstillende foryngelse.

Senkere dannes ved at greiner som er bøyd ned mot marka slår rot og greinspissen begynner å vokse oppover. Grana har best evne til dette hos oss, og dette forekommer helst i fjellskogen. Her finner vi ofte grupper av avleggere med det gamle mortreet i midten. Evnen til å sette avleggere ser ut til å være arvelig betinget, og denne evnen har vist seg å være større

for trær fra fjellskog enn fra låglandet. På grunn av de vanskelige frøformeringsforholdene i fjellskogen har det altså skjedd et utvalg til fordel for individer med større vegetativ formeringsevne.

Fysiognomiske og økologiske kjennetegn, faktorer som begrenser trevekst

De viktigste miljøfaktorene for dannelse av skoggrensa er: solinnstråling, temperatur, vind, fuktighet og næringstilgang i jorda. Underskudd på disse faktorene fører til liten frøtilgang, mangel på trygge oppvekstplasser, lite fuktighet i jorda og dårlig næringstilgang. Låge temperaturer og kort vekstsesong reduserer mengden av levedyktige frø.

Tilveksten hos trær minker mot fjellet av minst to årsaker: kortere vekstsesong og lågere temperatur i vekstsesongen. Bjørk starter skuddstrekningen seinere øverst i skoggrensa enn nede i skogen, men kompenserer ved å avslutte veksten seinere. Dette kan føre til at uherda vev blir utsatt for tidlig høstfrost.



I skoggrensa blir det sjelden modent granfrø. Her formerer grana seg helst med senere og danner kloner.

Trær som er stressa av ugunstig klima og kort vekstsesong kan være mer utsatt for angrep av sopp og insekter. Hvis dette er tilfelle vil det komme i tillegg til de ugunstige klimaforholdene slik at trær som ellers kunne overleve i tregrensa, vil dø som følge av sopp/innsektangrep. Den åpne strukturen i fjellskogen vil imidlertid gjøre trærne mindre utsatt enn i tette bestand. Det synes ikke å være sterkere angrep av insekter (biller eller målere) i skoggrensa enn lenger ned, heller motsatt. Det er ingen empiriske bevis på at insektangrep kan forklare posisjonen til tregrensa.

De fleste, om ikke alle trærne i skoggrensa har mykorrhiza (symbiose mellom sopp og planter som øker plantenes evne til å ta opp vann og næring fra jorda). Mykorrhiza er ofte sterkere i næringsfattige miljøer og nedgangen i næringstilgangen opp gjennom fjellskogen som er funnet, skulle derfor være forbundet med økt mykorrhiza mot fjellet.

Også trærne selv som vokser i tregrensa har viktige positive og negative innvirkninger på andre træs vekst og reproduksjon. Positive er at de demper vindtrykket, mengde vindskadde nåler vil gå ned etter som tettheten i bestandet øker. I tillegg minsker trebestand utstrålingen og fører lokalt til høyere temperatur. Negative er at det finnes bevis på at næringsmangel kan være en viktig begrensende faktor. Siden konkurranse om næringen antagelig er tetthetsavhengig kan dette være årsak til låg bestandstetthet i skoggrensa. I tillegg er jordtemperaturen ofte lågere inne i skogen enn på nærliggende åpne areal.

I tillegg til insekter og beitedyr vil allelopatiske (spire- og veksthemmende) stoffer fra planter som fjellkrekling alvorlig hindre etablering og vekst av trær. Frøplanter av bjørk har vist seg å ha redusert vekst sammen med fjellkrekling.

Klimatisk og empirisk skoggrense

Den nåværende posisjon og opptreden av den alpine tregrensa skyldes en kompleks samvirkning av tidligere og nåværende klimaforhold, naturlige forstyrrelser, og menneskelig arealbruk.

I overvåking av endringer i skoggrensa er det overmåte viktig å skille mellom den klimatiske (potensielle) skoggrensa og den empiriske (aktuelle) skoggrensa. I Norge finnes knapt noe større, sammenhengende areal som ikke har vært utnyttet av mennesker på en eller annen måte. Dette kan være hogst i forbindelse med tradisjonelt skogbruk, men også i forbindelse med seterdrift og gruvedrift. Sterkest er likevel arealene blitt preget av lang tids utnyttning av utmarka, særlig i fjellbandet, til setring, slått og beiting.

Klimatisk skoggrense

Den klimatiske skoggrensa kan gjenkjennes ved de høgestliggende skogbestandene i et område der den menneskelige påvirkningen har vært liten og beiting ikke har vært så sterk at den har pressa skoggrensa nedover. I våre mest intensivt drevne seterområder kan det være vanskelig å finne slike bestand. Det høgestliggende skogbestandet i Norge ligger under Sikkilsdalsløkka, på 1320 moh. Den klimatiske skoggrensa i Norge dannes av bjørk. Bjørk krever en triterm fra 8° C i innlandet til 10° C ved kysten, furu henholdsvis 9 og 11° C. I gjennomsnitt ligger tritermen i bjørkeskoggrensa 1,1° C lågere enn for furuskoggrensa. Det tilsvarer et bjørkebelte med en gjennomsnittlig mektighet på 150 m (Aas 1969).

Den klimatiske skoggrensa faller sammen med øvre grense for nordboreal vegetasjonssone. Ved siden av at dette er høgdegrensa for skog, er det også øvre grense for en rekke andre planter som ikke går opp i fjellet.

Tilpasning til det rådende klimaet tar sin tid. Selv om bjørka har rask ungdomsvekst og lav levealder, reagerer den med en viss tregghet på klimaendringer, men vil i langt sterkere grad enn barskog kunne følge opp med endringer i skoggrensenivået.

Så seint som i bronsealderen vokste det furuskog i Sunndalens seterfjell, 150 m over dagens furuskoggrense, og i Nord-Sverige antas det at furuskogen, så seint som i vikingetida, gikk nærmere 100 m høgere enn nå. Furusog viser høg grad av tregghet i sine reaksjoner på klimaendringer. Dette skyldes høg levealder og uregelmessig frøsetting nær sin klimatiske grense.

Grana er en ny innvandrer som konkurrerer med bjørk og furu i skoggrenseområdet. Bjørkebeltet vil bli redusert i forhold til situasjonen før grana vandret inn. Grana har, i likhet med bjørk, evne til vegetativ formering. Den er dermed i stand til å vedlikeholde en skoggrense noen timetre høgere enn furua. Tritermen i granskoggrensa er 0,4-0,5° C lågere enn i furuskoggrensa, men 0,6° C høgere enn i bjørkeskoggrensa. Dette skulle gi mulighet for et bjørkebelte på 85 m over granskogen, mot 150 m i forhold til furuskogen. I bratte lier med sterkt snøsig vil dette beltet bli større.

Empirisk skoggrense

Den empiriske skoggrensa er den skoggrensa vi ser i dag, også kalt den aktuelle skoggrensa. Denne ligger mange steder godt under den klimatiske skoggrensa og både bjørk, gran og furu

kan være skoggrensedannende her. Den viktigste faktoren som har pressa skoggrensa nedover er seterdrift, og rydding, beiting, slått og hogst i forbindelse med denne. Noen steder er omfattende hogst i forbindelse med gruvedrift, anlegg og lignende årsak til regulær avskoging. Noen steder har også skogbrann ført til en senking av skoggrensa.

Den empiriske skoggrensa er betinga av menneskeskapt aktivitet og fluktuerer med intensiteten til denne aktiviteten. Da landnåmet tok til på Island for 1100 år siden, var landet dekket av bjørkeskog fra fjell til kyst. I det norske bjørkebeltet har kulturpresset stått på i lengre tid, men ikke med så sterk intensitet som på Island. I enkelte seterfjell er det sporet avskoging så langt tilbake som i bronsealderen. Bjørk var et nødvendig materiale på setra. Det er derfor grunn til å anta at setrene blei lagt i eller i nærheten av bjørkeskog. I dag finnes ofte setrer langt inne på snauffjellet. Det er også spor som viser hvordan setrene er blitt flytta nedover etter hver som avstanden til skogen økte. Aller sterkest har nedpressingen av skoggrensa vært på 1700- og 1800-tallet. I løpet av siste halvdel av 1900-tallet avtok seterbruken sterkt og den empiriske skoggrensa er nå i ferd med å krype oppover over store områder. Denne reetableringen av tidligere skogdekte areal er lett å feiltolke for skoggrenseheving som skyldes klimaendringer.



I dag finner vi ofte setrer inne på snauffjellet. Kanskje var det bjørkeskog her da setra blei anlagt. Hemsedal, Buskerud.

Kystlynghei finnes i de ytre kyststrøka fra Kristiansand til Lofoten. Dette er imidlertid ikke den opprinnelige landskapstypen her, tidligere vokste skog ut til kysten. Disse åpne lyngheiene blei skapt av menneskelig aktivitet for 2000 til 4000 år siden som følge av avskoging, lyngsviing og beite. Denne tradisjonelle utnyttinga av kystlyngheiene er for det meste avslutta, og hele landskapet er under en gjennomgripende forandring med skogplanting og naturlig gjengroing.

Fysiognomiske og økologiske forskjeller

Hvordan skal vi så kunne se om skoggrensa i et område er klimatisk betinga eller menneskeskapt? Siden bjørk er utbredt over hele landet og har et lågere krav til sommervarme enn andre trær, vil den være det treslaget som danner klimatisk skoggrense i Norge. Der gran eller furu danner skoggrensa, må vi følgelig anta at bjørka er fjerna fra høgereliggende områder. Noe usikkerhet rundt dette er det likevel i de mest kontinentale dalførene, der noen hevder at klimaet hindrer bjørk i å gå høgere enn bartrær.

Ei naturlig, klimatisk betinga skoggrense vil ofte ha en åpen bestandsstruktur med overvekt av gamle individer som er prega av klimaforholdene, dvs. stor utglisning av nåler, mye skader som følge av vind- og snøbrekk, lite eller ingen foryngelse fra frø, og stor forekomst av vegetativt formerte individer.

Ei empirisk, menneskeskapt skoggrense vil ofte ha mer ensarta bestandsstruktur. I og med at den ligger under den klimatiske grensa og er mer beskytta mot vær og vind, vil klimapåvirkningen være mindre markert og trærnes generelle vitalitet være bedre. Her vil det

også finnes mye foryngelse fra frø. Kontinuerlig forekomst av bjørkeforyngelse over tregrensa indikerer at frøtilgang og jordsmonnsforhold ikke er begrensende for bjørk i området. Redusert beitetrykk vil her sannsynligvis føre til en rask etablering av bjørkebestand over nåværende skoggrense. Der skoggrensa er styrt av lang tids beitepress, vil det kunne finnes arter i skogbotnen som indikerer beiting, samtidig som det er fravær av arter som ikke tåler sterk beiting.

Skoggrensa som indikator på klimautvikling

Skal observasjon og overvåking av skoggrensa fungere som en indikator på endringer i klimaet, er det helt nødvendig å skille mellom klimatisk og empirisk skoggrense. Den empiriske skoggrensa vil flytte på seg med endringer i arealbruken, uavhengig av klimautviklingen. Ekspansjon av skoggrensa som er registrert gjennom den første del av 20. århundre, skyldes trolig bedre klima gjennom den perioden. En fortetting og ekspansjon av bjørkeskogen etter midten av 20. århundre, på tross av kjøligere klima må antas å skyldes endringer i arealbruken (mindre setring, mindre reinbeite og slutt på virkesuttak til ved og jernbane).

Nå er det viktig å definere målet med overvåkingen. Er målet å avdekke klimaendringer alene, kan dette oppnås ved observasjon av subjektivt utvalgte flater i og rett over skoggrenseområder som tydelig er klimatisk betinga (langt fra setrer, veier og jernbaner, og der det ikke har vært gruvedrift).

Er målet å overvåke endringer i landskapsutviklingen slik den får betydning for arealbruk, friluftsliv, mange næringsinteresser, biologisk mangfold, m.m. kan vi oppnå dette ved å overvåke skoggrensa der den finnes og registrere endringer. Så kan vi heller forsøke å finne årsaker til endringer ved tolking av registreringsdataene. For dette formålet, vil et systematisk utlagt nett av faste flater som retakseres med visse mellomrom være godt egna.

De fleste forskerne som studerer dynamikken i skoggrensa anbefaler dette.

Det går an å sammenholde registrerte data med kjent mønster i de seinere klimaendringer. Denne metoden legger til grunn at arter som flytter på seg har et mønster der unge planter vil gå foran eldre planter. Arter som forynger seg vil gradvis bevege seg vekk fra en konsentrasjon av frøproduserende arter. Dette er mest synlig ved bratte klimagradianter, f.eks. en fjellside. Denne metoden forutsetter ganske intensiv prøvetaking av faktisk alder på trær langs et avstands- eller høgdetransekt.



*Faste flater i et systematisk nett som retakseres med visse mellomrom vil være godt egna for å overvåke endringer i skoggrensa.
Foto Harald Aalde.*

Praktisk bruk av skoggrensa som klimaindikator

Skal vi lykkes i å ta i bruk skoggrensa gjennom observasjoner og overvåking, i å fortelle oss noe om klimaendringer, må vi ha en pragmatisk tilnærming til begreper. Tidligere undersøkelser har en svakhet til felles at de enten ikke definere skoggrensa eller tregrensa eksakt, eller de bruker begrepene om hverandre. Dette kan skyldes mangel på enhetlig definisjon av begrepene.

Konseptet skoggrense-tregrense

Forskerne aksepterer at et av hovedproblemene i studier av skoggrensa er bruk av uttrykkene "treeline" eller "timberline", konseptet "linje". De fleste undersøkelser anerkjenner ikke linjer, men soner. Transisjonen fra tundra til taiga eller fra skog til fjell, er ofte observert som transisjon fra skog, gjennom et område dominert av skog der flekker med snaumark opptrer, til snaumark med flekker av skog, og eventuelt til snaumark helt uten trær.



Skoggrensa er oftest ingen skarp linje, men heller en sone der tetthet og høyde av trær gradvis avtar.

Samtidig er myrfrekvensen høy i området rundt skoggrensa og bidrar til å bryte opp skoggrensa som linje. Det er nødvendig å ta i bruk et konsept basert på gradienter av tredekning/tetthet uttrykt på en arealbasis, ikke linje.

En praktisk tilnærming

Overvåking av endringer i skoggrensa gjennom et systematisk utlagt prøveflatenett er ikke avhengig av klargjøring av begreper eller konkrete definisjoner på skillet mellom skog og fjell. Det vil være nødvendig å grovt kartlegge den klimatiske skoggrensa, dvs. finne de øverste skogbestandene og ta høyde for lokalklimatiske variasjoner. Prøveflatenettet legges ut slik at de dekker områdene under og like over den klimatiske skoggrensa. For å fange opp den empiriske skoggrensa, vil det i mange områder bli nødvendig å trekke nettet ganske langt ned, kanskje bør hele nordboreal sone (fjellskogsonen) være inkludert.

For å fange opp effekter av framtidig varming i klimaet, bør nettet dekke areal som ligger minst 50 m over dagens klimatiske grense. Med samme utvikling som pågikk først på 1900-tallet, vil skoggrensa stige med 50 m i løpet av 50 år, som følge av klimautviklingen alene. Dette er et konservativt anslag da mange prognoser tyder på at den globale oppvarmingen vil være sterkere. I sonen mellom empirisk og klimatisk skoggrense vil gjengroingen gå mye raskere.



*Areal som nå ligger over skoggrensa kan om noen tiår bli skogdekt.
650 m oh. Sauda, Rogaland.*

Utfordringen blir å finne og ta i bruk registreringsparametre som er hensiktsmessige i å overvåke utviklingen. Registreringsdataene vil fortelle oss hva som skjer. I kommunikasjon med omverdenen kan det imidlertid bli nødvendig å relatere dataene til definerte begreper, som skoggrense og tregrense. Det forutsetter en sanering av definisjonene.

Barskoggrensa mot sør

Når vi snakker om barskoggrense, oppfattes dette som barskogens avgrensning mot fjellbjørkeskog eller snaufjell/tundra. Det boreale barskogbeltet har også ei grense mot sør i Norge, der klimaforholdene gjør at grana viker for ulike lauvtreslag. En global oppvarming vil føre til at barskogbeltet forskyves nordover og samtidig med at bartrærne brer seg nordover og oppover, vil de også trekke seg tilbake i sør, særlig vil dette gjelde gran som har størst krav til et humid og kjølig klima.

Dersom sommertemperaturene stiger kan vi generelt forvente en økning i utbredelsen av tempererte treslag som eik og bøk. Det følger dels av sammenhengen mellom dagens klima og fordeling av vegetasjonssoner i Europa, og dels de dynamiske forflytningene av vegetasjonen som har funnet sted under tidligere klimaendringer. Eika var en sein innvandrer som ekspanderte mot slutten av den Atlantiske perioden (8000-5000 år før nåtid) da sommertemperaturen var 2-3 °C høyere enn i dag.



Tempererte treslag, bl. a. eik, vil bre seg på bekostning av bartrær når sommertemperaturene stiger. Vennesla, Vest-Agder.

Eika tåler svært mye vind, og det er tvilsomt om en framtid preget av mer stormer og uvær vil ha noen nevneverdig negativ betydning for eikas utbredelse og som element i landskapet. Varmere og lengre somre vil også gjøre at eika vokser bedre. Som klimaksart med lang generasjonstid og begrenset frøproduksjon er det imidlertid grunn til å anta at eika vil ha en lang reaksjonstid på en rask temperaturøkning. Spredningen av eikenøtter skjer fremfor alt med nøtteskrike og er derfor prisgitt tilfeldighetenes spill. Samlet tilsier dette at eikas muligheter for ekspansjon i Norge i første rekke ligger innfor dagens utbredelsesområde og noe nordover på Østlandet. Selv om eika reagerer seint på endringer i vekstbetingelsene hører den nok til blant ”vinnerne” i møtet med fremtidsklimaet. (Myking 2003)

Andre lauvtreslag som har en mer effektiv spredningsmekanisme (ask, lønn) vil kunne bli sterkere favorisert av en klimaendring.

Aktuelle registreringsopplegg

Ulike fjernmålingsmetoder fra fly og satellitt vil i framtida kunne by på oversikter med tilfredsstillende detaljering og med en akseptabel kostnad. Så langt synes satelittfjernmåling ikke å være hensiktsmessig for nøyaktig overvåking av skoggrensa. Dette henger sammen med begrensa oppløsning og en rekke praktiske usikkerhetsfaktorer. Metoder som innebærer opptak fra fly er under utvikling, men er foreløpig ikke praktisk operative og blir fort svært kostnadskrevende.

Registrering av aktuelle parametre i felt utført på systematisk utlagte flater som retakseres med visse intervaller må utgjøre hovedtyngden av datafangsten, hvis vi ønsker å starte en overvåking umiddelbart. Det vil i tillegg være en stor fordel om skoggrenseflatene er del av et landsdekkende nett i skog og knyttes opp mot eksisterende tidsserier. Flatetetthet og frekvens i retakseringen kan vurderes ut fra kostnader og nytteverdi.

Formål

Et systematisk utlagt nett av prøveflater i skoggrensa som retakseres vil kunne ha flere formål:

- overvåking av endringer i den klimatiske skoggrensa som grunnlag for tolkinger av effekter av klimaendringer
- overvåking av endringer i den empiriske skoggrensa som grunnlag for tolkinger av arealbruksendringer og effekter på landskapet
- inngå i et landsdekkende nett av prøveflater og gå inn i grunnlagsmaterialet som gir oversikter over Norges skogressurser og utviklingen i disse
- skaffe referansedata for ulike forskningsprosjekter som har til formål å studere effektene av klimautviklingen i mer detalj.

Prøveflatenett

En utvidelse av Landsskognetakseringens prøveflatenett vil være en rasjonell og hensiktsmessig måte å etablere overvåking av skoggrensa på. Selv om en velger et mindre tett forband enn 3x3 km og lavere retakseringsfrekvens enn 5 år, vil det innebære store fordeler å være del av et landsdekkende nett av prøveflater i skog. Dette nettet vil da også dekke barskogens grense mot sør og mot kysten i vest og vil kunne fange opp endringer som skjer her.

Samtidig har vi et nett av flater i overvåkingsprogrammet for skogskader som nå registreres hvert år, der 292 ligger innafor nordboreal sone og kan gå rett inn i overvåking av skoggrensa.

Aktuelle parametre

Mange av de parametrene som i dag registreres i forbindelse med Landsskognetaksering og Overvåkingsprogrammet for skogskader vil gi verdifull informasjon i overvåking av skoggrensa. En del parametre bør justeres for å bli mer hensiktsmessige, og det vil være behov for enkelte nye, formålsretta parametre.

IASC (International Arctic Science Committee) anbefaler følgende parametre:

Overvåking av biologiske parametre:

- Fenologi av bar- og lauvtrær.

Fenologi er læren om forholdet mellom klima og periodiske biologiske fenomen. Dette vil kunne innebære observasjon av tidspunkt for ulike sesongvise hendelser som for eksempel lauvsprett, blomstring og lauvfall, der dette skjer.

- Vekst (årlig og retrospektiv).
Tilvekst blir målt nøyaktig nå for bartrær ved toppskuddlengde og årringbredde på temporære flater. Det er ingen slike målinger på permanente flater, og heller ingen for bjørk. Toppskuddlengde kan la seg gjennomføre for bartrær i fjellskogen der trærne er lågere og skogen mer åpen enn i låglandet. Tilvekst i form av gjennomsnittlig toppskuddlengde kan også måles på foryngelse i skoggrensa.
- Reproduksjonsøkologi.
Dette vil innebære en mer nøyaktig registrering av foryngelse, kanskje med identifikasjon i form av koordinatbestemmelse slik at utviklingen av enkeltindivider kan følges. I dette ligger også registrering av blomstring og konglesetting. Utviklingen av grankloner vil også være en aktuell registreringsparameter.
- Biodiversitet og mengde av trær, busker, vegetasjon og dyr.
Mengde og fordeling av trær og busker måles i dagens takst. Dette må antas å fungere også for skoggrenseovervåking. Det samme gjelder for vegetasjonstype. Det er ingen registrering av dyr.
- Dyr-plante interaksjoner.
Dette vil kunne innebære en registrering av beiting på trær. Nå registreres beiteskader av hjortevilt og husdyr, antagelig tilstrekkelig detaljert. Skader forårsaket av insekter blir også registrert nå. Det samme gjelder gnageskader fra pattedyr.
- Menneskelig påvirkning.
Neppe noen grunn til å gjøre mer med dette.
- Sykdommer på trær.
Sopp-skader registreres nå.
- Skader på trær som følge av klima, brann, forurensning, etc.
Klimatiske skader registreres nå, også mekaniske skader.

Nye parametre

Blant nye parametre bør følgende diskuteres:

- Foryngelse.
En økning av sommertemperaturen i skoggrenseområdet, vil føre til at den fysiske grensa for frømodning hos trær heves. Dette vil gi økt foryngelse fra frø, forutsatt at forholdene ellers ikke endres i negativ retning. En mer detaljert registrering av foryngelse enn det vi har nå bør diskuteres (jfr. pilotprosjekt – foryngelse).
- Snødybde
Snødekket blir framholdt som en nøkkelfaktor i modeller for vegetasjonens endringer i et endra klima. Forskningsprosjekter i skoggrensa inkluderer gjerne en måling av snødybde. Dette kan gjøres ved å registrere av nedre grense for snømålelav (*Parmelia olivacea*) på utvalgte trær.
- Fjellplanter
En rekke plantearter har sin nedre voksegrense i nordboreal vegetasjonssone. En økning i sommertemperaturen vil kunne føre til at denne grensa blir skjøvet oppover, både som følge av mindre gunstig klima for disse artene, og som følge av økt konkurranse fra arter som kommer sørfra og nedenfra.
Registrering av et utvalg av fjellplantene bør utføres som en frekvensanalyse (jfr. metode i vegetasjonsovervåkingen).
Aktuelle arter kan være: dvergbjørk, musøre, rypebær, blålyng, trefingerurt, fjellfiol, fjellmarikåpe, fjellpestrot, m.fl.

Foto

Fotografier kan utgjøre eksakt dokumentasjon på en tilstand. Det foreligger ingen systematisk fotografering av skog i Norge, men spredt historisk dokumentasjon kan nok finnes i ulike arkiver. Som dokumentasjon for framtida og spesielt i forbindelse med overvåking av skoggrensa, bør systematisk fotografering av utvalgte flater vurderes.

Metode

Fotograferingen bør evt. gjøres på et utvalg av Landsskogtakseringens faste flater i skoggrensa. Metoden bør utprøves grundig i felt før den fastlegges endelig, men som utgangspunkt bør følgende metode utprøves:

Bildene tas fra 2-4 punkter utafor flata med flatesentrum i fokus. Det vil være viktig å velge punkter slik at oversikten blir best mulig og med minst mulig forstyrrende elementer.

Fjellskogen i den klimatiske skoggrensa er normalt forholdsvis åpen, slik at slike punkter burde la seg finne i de fleste tilfellene. Punktene stedfestes med avstand og retning fra flatesentrum for seinere gjenfinning. Bildene bør tas med et vidvinkelobjektiv, for eksempel 28 mm, med sentrumspålen midt i søkeren. Sentrumspålen merkes ved hjelp av en rødmalt pinne eller lignende. Bildene må tas i en fast høyde over bakkenivå. Aktuelle eksponeringsdata noteres ned. På denne måten kan samme motiv og utsnitt gjentas ved seinere fotograferinger.

Arkivering

Bildene kan lagres digitalt i en database med link til aktuelle flate i hoveddatabasen. Ved siden av å utgjøre et grunnlag for overvåking av endringer, vil bildene også kunne være nyttige i ulike framstillinger ved dokumentasjon av skoglige forhold.

Utfordringer

Fotografering i skog byr på store utfordringer, særlig når det gjelder lysforhold. Klart solskinn gir sterke reflekser fra vegetasjonen, samtidig som det blir sterke slagskygger. Dette kan til en viss grad kompenseres ved bruk av polafilter, men dette stjeler mye lys. Overskyet vær med jamnt lys gir ofte de beste resultatene, men regnvær er også fint fotovær, så sant det er nok lys.

I alle tilfelle bør stativ brukes for å sikre god kvalitet.

I noen tilfeller kan det vise seg at skogen er så tett at motivet kan oppfattes som helt "umulig" av fotografen. Dette er likevel et bilde på dagens tilstand, som kanskje er endret etter noen tiår. Et bilde, selv om det fra et fotografisk synspunkt er helt bak mål, med et virvar av stammer, greiner og lauvverk, er likevel en dokumentasjon på en tilstand og har ved det sin verdi.

Litteratur

- Aas, Børre 1969: Climatically raised birch lines in southeastern Norway 1918-1968. Norsk Geografisk Tidsskrift 1969, 23-3.
- Aas, B. og T. Faarlund 1988: Postglasiale skoggrenser i sentrale sørnorske fjelltrakter. Norsk Geografisk Tidsskrift 1988, 42-1.
- Aas & Faarlund 1995: Skoggrenseutviklingen i Norge, særlig i det 20., århundre. Arns-Varia 24.
- Aas & Faarlund 2000: Forest limits and the subalpine birch belt in North Europe with a focus on Norway. Arns-Varia 37.
- Alfsen, Knut H. 2001: CICERO Policy Note 2001:02. <http://www.CICERO.no>
- Bryn, A., A. Norderhaug and K. Daugstad, 2001: Re-growth effects on vascular plant richness in Norwegian, abandoned summer farm areas. Skøgræktarrtid 2001. 1.
- Bugman, H. 1997: Gap models, forest dynamics and the response of vegetation to climate change. NATO ASI Series, Vol 47.
- Callaghan, m.fl. 2002: The Dynamics of the Tundra-Taiga Boundary: An Overview and Suggested Coordinated and Integrated Approach to Research. Ambio Special Report 12.
- Direktoratet for naturforvaltning, 1995: Virkninger av økt stormaktivitet på økosystemer. DN-rapport 1995-5
- Fremstad, E. 1992: Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. NINA oppdragsmelding 124
- Fremstad, E. og A. Moen 2001: Truete vegetasjonstyper i Norge. Rap. botanisk serie 2001-4.
- Fremstad, E. m.fl. 2003: Natur i endring. NINA temahefte 24.
- Gray, Alan G. 1997: Climate change and the reproductive biology of higher plants. NATO ASI Series, Vol 47.
- Hafsten, U. 1992: The immigration and spread of Norway spruce (*Picea abies*) in Norway. Norsk geogr. Tidsskr. Vol. 46, 121-158
- Hanssen-Bauer, I., E.J. Førland og O.E. Tveito, 2001: Temperaturscenarier for vinter-Norge. Cicerone 1/2001.
- Haugberg, M. 1962: Grunnlaget for skogens naturlige foryngelse. Skogbruksboka bd. 2.

- Hofgaard, A. 1997: Inter-relationships between treeline position, species diversity, land use and climate change in the central Scandes Mountains of Norway. *Global Ecology and Biogeography Letters* 1997 - 6.
- Hofgaard, A. 1997: The role of "natural" landscapes influenced by man in predicting responses to climate change. *Ecological bulletins* 47.
- Hofgaard, A. 1997: Structural changes in the forest-tundra ecotone: A dynamic process. NATO ASI Series 1, Vol. 47.
- Hofgaard, A. ?? : Skoggrense som anvendbar målestokk på klimaendringer. Presentasjon, Climate Impacts Research Centre, Abisko, Sverige.
- Hylen, G. og J.Y. Larsson 2003: Landsrepresentativ overvåking av skogens vitalitet i Norge 1989-2003. NIJOS rapport 1/2004.
- Iversen et. al. 2003: Kombinasjon av to scenarier for 2030-2050: Ekstremene nedjusteres. Klimaprogram 2003.
- Jacobsen, H og J.R. Follum 1997: Kulturminner og skogbruk. Skogbrukets kursinstitutt.
- Kielland-Lund, J. 1961: Skogens innvandringshistorie. Skogbruksboka, bd. 1.
- Kjønaas, O.J. 2003: Klima-skog: Hvorfor er jorda så viktig? Aktuelt fra skogforskningen 6/03.
- Kullman, L. 1989: Recent retrogression of the forest-alpine tundra ecotone (*Betula pubescens* Ehrh. ssp. *tortuosa* (Ledeb.) Nyman) in the Scandes Mountains, Sweden. *Journal of Biogeography*, vol. 16, no. 1.
- Kullman, L. 1990: Dynamics of altitudinal tree-limits in Sweden: a review. *Norsk Geogr. Tidsskr.* 44.
- Kullman, L. 2000: Trädgränsen - en klimatindikator. Varmare klimat ger stigande trädgränser i svenska fjällerna. *Fauna och Flora* 95/3.
- Kullman, L. 2003: Förändringar i fjällens växtvärld - effekter av et varmare klimat. *Svensk Botanisk Tidsskrift*, Vol 97/5.
- Larsson, J.Y. og S. M. Søgne 2003: Vegetasjon i norsk skog – vekstvilkår og skogforvaltning. Landbruksforlaget.
- Levende skog 1998: Rapport 9a-d – Standardutredninger.
<http://www.levendeskog.no/omlevsko.htm>
- Mann, Bradley & Hughes: [Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries](#) ; *Nature* 392, 779-787; 1998; doi:10.1038/33859.
- McIntyre og McKittrick: [Corrections to the mann et. Al \(1998\) proxy data base and northern hemispheric average temperature series](#) ; *Energy & Environment*, volum 4 nummer 6; 2003.
- Moen, A. 1998: Nasjonalatlas for Norge: Vegetasjon. Statens Kartverk, Hønefoss.
- Mork, E. 1967: Økologiske undersøkelser i fjellskogen i Hirkjølen forsøksområde. Medd fra Det norske Skogforsøksvesen 5.

- Myking, T. 2003: Eik og klimaendringer. Skogforsk.
- NIJOS 2002: Feltinstruks 2002. Landsskogtaksering og overvåking av skogens sunnhetstilstand. NIJOS dokument 2/2002.
- Nordhagen, R. 1943: Sikilsdalen og Norges fjellbeiter. Bergens museums skrifter nr. 22.
- Nordli, Ø. 2001: Vår- og sommartemperaturane på Austlandet 1749-2000. Cicerone 4/2001.
- Norges forskningsråd, 2001: Forskningsbehov knyttet til virkninger av og tilpasninger til klimaendringer i Norge med nærliggende havområder. Innspill fra tverrfaglig arbeidsgruppe nedsatt av Norges forskningsråd.
<http://www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase/>
- Norges forskningsråd (2002): KlimaEffekter – Forskningsprogram om effekter av og tilpasninger til klimaendringer. Foreløpig programbeskrivelse.
<http://www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase/>
- Odland m.fl. 1992: Fjellskog i sør-Norge: biologi og forvaltning. Oppdragsmelding 123, NINA.
- RegClim 2001: Regionale klimaendringer. Foreløpige beregninger fra RegClim 06.01.01.
<http://www.Regclim.no>.
- Resvoll-Homsen, H. 1918: Fra fjeldskogene i det østenfjeldske Norge. Tidsskrift for Skogbruk 26, 107-223 Kristiania.
- Solberg, B. Ø. 2003: Klimaendringer og trevekst. NTNU.
- Solberg, S. og T. Myking 2001: Klimastress på skog. Skogforsk. Aktuelt fra skogforskningen 6/01.
- Solbraa, K. 2001: Skogskjøtsel. GAN Forlag AS.
- Solomon, A.M. 1997: Natural migration rates of trees: global terrestrial carbon cycle implications. NATO ASI Series, Vol 47.
- Solomon, Leak and Hollinger 1997: Tree demography and migration: What stand level measurements can tell about the response of forest to climate change. Ecological Bulletins 47.
- Strand, L. 1961: Utbredelsen av treslagene. Skogbruksboka bd. 1
- Strand, G. H. 2002: Beregning av areal som kan bli tresatt ved temperaturheving. NIJOS-dokument: 05/2002.
- Støcklin, 1999: Recruitment and mortality of *Pinus sylvestris* near the nordic treeline: the role of climatic change and herbivory. Ecological Bulletins 47.
- Sveinbjørnsson, Hofgaard and Lloyd 2002: Natural causes of the Tundra-Taiga Boundary. Ambio Special Report 12.
- Sygna, L. og K. O'Brien 2001: Virkninger av klimaendringer i Norge. Oppsummeringsrapport fra seminaret i Oslo, 30-31 oktober 2000. CICERO Report 2001:1

Wielgolaski, F.E. ed. 2001: Nordic Mountain Birch Ecosystems. Man and the biosphere series.