

# Klima

Innledning	side. 1
Albedo og terpener	side. 2
Klimatilpasning	side. 3
Epigenetikk	side. 4
Pollenspredning	side. 5
Skog som tiltak for å fange og lagre CO2	side. 6
Modeller gir ulike prediksjoner	side. 7
Substitusjonseffekter - Råte	side. 8
Referanser	side. 9

Klimaet har stor betydning for skogen, men skogen har også stor påvirkning på klimaet på flere måter. I denne e-boken vil vi beskrive noen av de viktigste forholdene i dette kompliserte samspillet.

### Innledning

I tempererte og nordlige skoger, hvor det er frost i deler av året, er plantene tilpasset slik at veksten avsluttes i god tid før frosten kommer og ikke starter igjen før etter at faren for frost om våren er liten. Det finnes mange eksperimenter med mange arter, herunder gran, hvor det er påvist at planter fra nordlige breddegrader avslutter veksten tidligere om høsten enn planter fra sørlige breddegrader. Dette har blitt tolket som at det eksisterer en genetisk fintilpassing til klimaet på voksestedet drevet fram gjennom naturlig utvalg i flere generasjoner. Som vi skal se er det andre mekanismer som forklarer denne meget finstemte tilpassingen i gran.

Skogen påvirker klimaet på mange måter. At skogen binder CO<sub>2</sub> og der i gjennom påvirker klimaet er nå velkjent. Forskning på flere områder de siste 10 år tyder på at skogene er langt mer avanserte "regulatorer" av klimaet enn det vi har regnet med til nå. Skog er en mørk overflate og reflekter dermed mindre av sollyset enn blanke overflater som vann og snø. Det vil si at skog har lavere albedo enn snø og vann. Ulike arter av trær har også noe ulikt albedo. For eksempel har gran lavere albedo enn osp. Isolert sett gir skog dermed en viss oppvarming, og mørk skog mer enn lys skog. Men bildet er mer komplisert enn som så.

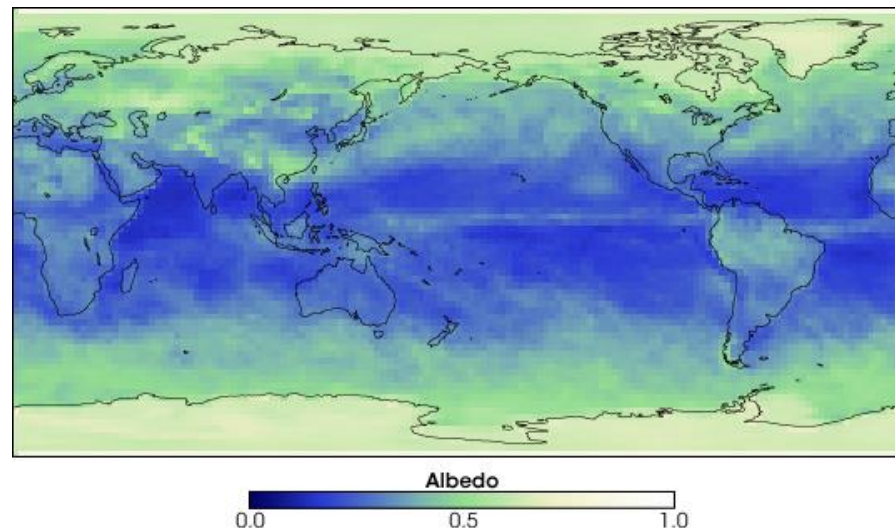


*Skogen er en viktig klimaregulator og har en stabiliserende virkning på nebør og avrenning. Flom i elven Vistula i Polen våren 2010. Foto: NASA*

Duften av furu og gran er velkjent for de fleste. Disse karakteristiske duftene kommer av at ulike treslag produserer ulike terpenener, som er komplekse, flyktige, organiske molekyler. Nå er det påvist at terpenene virker som kondensasjonkjerner for vanddamp slik at det dannes et tynt skylag over et skogbestand. Dette tynne skylaget reflekterer sollys og øker derved skogens albedo. Trærne øker produksjonen av terpenener når det er varmt slik at skydannelsen øker og temperaturen i bestandet blir lavere enn den ellers ville vært. Skog ser dermed ut til å jevne ut temperaturen, øker den når det er kaldt og senker den når det er varmt.

Hva er viktigst for å senke temperaturen i atmosfæren, albedoeffekten av skogfrie områder eller kondensasjonkjerner fra barskogens terpenener? For å svare på dette spørsmålet trengs det utvilsomt mer forskning. Kanskje bestandsskogbruket gir en god kombinasjon av hogstflater med høy albedo om vinteren og barskog som fordamper terpenener om sommeren?

Nedbør og avrenning blir også påvirket av skogen. I flere artikler de siste årene har to russiske fysikere, Dr. Anastasia Marikeva og Dr. Viktor Grutskov, påvist at hvor det er skog blir nedbøren transportert mye lengre inn over kontinentene enn hvor det ikke er skog, og de har utviklet en teori for å forklare dette fenomenet. Selv om teorien er omdiskutert er mønstret de har påvist empirisk uomtvistelig og slående. Samtidig er det slik at trekronene fanger opp deler av nedbøren slik at flomfaren blir mindre i områder med skog. Skogen har derved en stabiliserende virkning både på nedbør og avrenning, samtidig som den stabiliserer temperaturen. Det kan se ut til at barskogene er viktigere og kanskje betydelig mer avanserte regulatorer av klimaet enn vi hittil har trodd.



*Jordas gjennomsnittlige albedo i mars måned 2010 slik det ble målt av NASA's Terra satellitt.*

## Klimatilpassing

Som nevnt har den klare sammenhengen mellom breddegraden (også høyden over havet) hvor trærne kommer fra og vekst avslutningen om høsten, blitt tolket som en nesten perfekt genetisk tilpassing til klimaet på voksestedet. Et eksempel på en slik sammenheng er vist i Figur 1.

I nordlige og høyereliggende granskog i Norge blomstrer grana sjelden. Det kan derfor være vanskelig å skaffe nok frø til å plante etter hogst for disse delene av landet. For å omgå dette problemet ble det i 1960-årene etablert frøplantasjer på klimatiske gunstige steder som skulle forsyne disse områdene med frø. Lyngdal frøplantasje, anlagt helt sør i landet, skulle forsyne Trøndelag og Nordland med frø. Podekvist ble samlet inn i de områdene hvor frøet skulle brukes. En forutsatte den gang, som rimelig var ut fra rådende genetisk teori, at det ikke hadde noen betydning at frøet ble produsert i et betydelig mildere klima enn hvor det skulle brukes. Da forsøkene med avkom fra Lyngdal frøplantasje ble analysert i 1980 viste det seg at avkommet hadde fått mye senere knoppsetting enn ventet, på linje med hva en venter i skog fra Østlandet.

I løpet av de kommende år ble dette fenomenet også påvist i avkom fra andre frøplantasjer. Dette utløste en mangeårig forskningsaktivitet ved Norsk Institutt for Skogforskning som fortsatt er i gang. Denne forskningen har vist at det er sommertemperaturen i samspill med daglenden når kimplanten i frøet utvikles, som i stor grad styrer når planten skal sette knopp om høsten og starte veksten om våren. Dette er påvist ved å gjøre kontrollerte kryssinger ute på friland og inne i veksthus. Ikke minst har det blitt påvist ved å lage kulturer av kimplanter, såkalte embryogene kulturer.

Disse startes fra en enkelt kim, ved å ta kimen ut fra frøet og dyrke den på et vekstmedium. Gitt riktige stimuli kan det dannes millioner av kopier. Kopiene er en klon på samme vis som avleggere fra potteplanter.

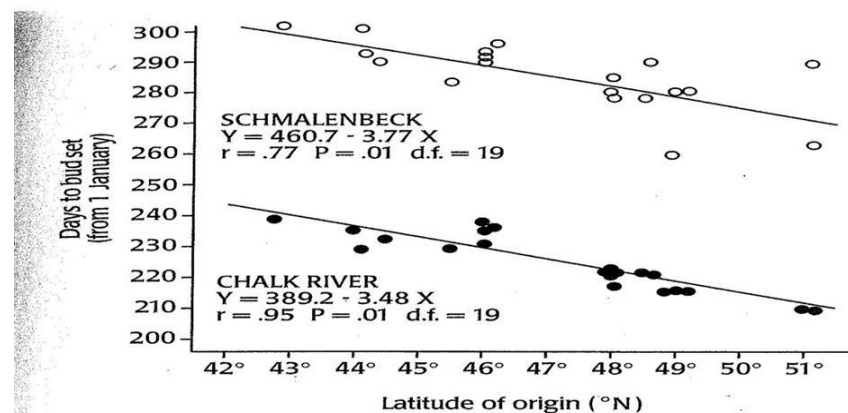
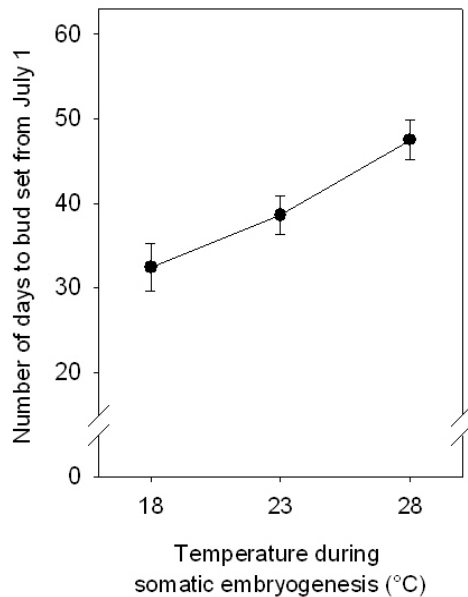


Figure 3.13 Regressions of bud set on latitude in the same *Picea mariana* provenances in two experiments: (1) at Schmalenbeck, northwestern Germany, in a mild, temperate, maritime climate at lat. 54°N; and (2) at Chalk River, Ontario, Canada, in a continental, cool-temperate climate, at lat. 46°N (from Morgenstern [1976])

$$L_e = L + \frac{A}{100}$$

Figur 1. Sammenheng mellom frøets proveniens (breddegrad) og tid til knoppsetting i Svartgran plantet ut i Tyskland og Canada. Fra Morgenstern (1976).



Forsøket ble startet ved at en mor og en far ble krysset simultant i veksthus og på friland i Biri planteskole i Oppland. Det ble høstet frø og startet mange embryogene kulturer fra hver av de to kryssingene. Tolv kulturer ble tilfeldig valgt ut fra hvert kryssingsmiljø. Disse ble i flere måneder dyrket under ulike temperaturer, 18, 23 og 28 grader C. Fra de små kimplantene som ble laget ble det dyrket planter som ble satt ut i feltforsøk. Det viste seg at plantene som var dyrket under 28 grader hadde mye senere knoppsetting enn de som var dyrket under 23 eller 18 grader. Samtidig "husket" plantene temperaturen under kryssingen slik at planter fra kryssingen inne i veksthus hadde senere knoppsetting enn planter fra kryssingen ute på friland (Fig 2).

Dette eksperimentet viser for det første at de endringene i knoppsetting som ble observert i avkom fra Lyngdal frøplantasje kan forklares med andre mekanismer enn seleksjon blant pollen og de fire eggcellene som finnes inne i et granfrø ved befruktning. For det andre viser forsøket at kimen i seg selv er i stand til å huske temperaturen den sommeren den blir dannet, det er følgelig ikke et signal fra moretreet. Et tredje viktig poeng er at endringen i knoppsetting heller ikke skyldes næringsforholdene i frøet. Dette fordi kulturene ble dyrket så lenge at den opprinnelige næringen i frøet var tynnet fullstendig ut. De samlede resultatene tyder på at knoppsettingen i gran blir regulert av et epigenetisk minne som er følsomt for temperaturen under kimplantens utvikling i frøet. Epigenetikk er da forstått som regulering av hvordan genene blir uttrykt.

*Figur 2. Dager til knoppsetting fra 1 juli som funksjon av temperatur under somatisk embryogense i gran. Fra Kvaalen og Johnsen (2008).*

Hva har så dette å si for granas tilpassing til klimaet? Et svært viktig moment er at den fine tilpassingen til voksestedets klima som en regnet med at tar mange generasjoner gjennom naturlig seleksjon faktisk langt på vei skjer etter en generasjon. Grana produserer dermed avkom hvor fenologien, det vil si vekststart- og avslutning følger klimaendringene nesten til punkt og prikke. Dette har den fordel at det til en hver tid finnes avkom som er tilpasset klimaet på voksestedet. En annen fordel er at når pollen kommer fra et annet klima enn der moretreet står og avkomet sannsynligvis vil vokse, vil avkomet uansett være tilpasset voksestedet. I vindpollinerte treslag kan pollenet bli transportert over store avstander og fra en klimasone til en annen. Når avkomet fra slike langdistansekryssinger i utgangspunktet er tilpasset klimaet på voksestedet bidrar det til å øke flyten av gener mellom geografiske områder.

I fjell- og dalområder kan det være stor forskjell i klima mellom bunnen og toppen av lia samtidig som pollenflyten der i mellom kan være stor. Også i dette tilfellet vil denne mekanismen sørge for at avkomet er tilpasset stedet der det skal vokse. En art som har denne evnen til å tilpasse seg klimaet på voksestedet fra en generasjon til neste vil være i stand til å vokse på mange steder og til å spre seg raskt.

*Pollensky i Gauldalen 2006. Foto: Ragnar Johnskås, Skogfrøverket*

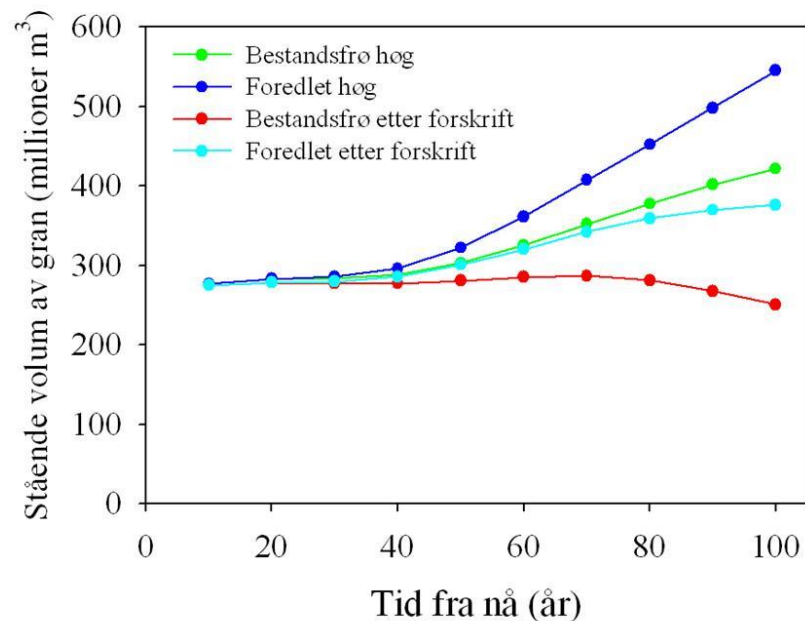


### Skog som tiltak for å fange og lagre CO<sub>2</sub>

Skogene her i landet lagrer store mengder karbon. Landsskogtakseringen har målt volum og tilvekst i skogene siden 1920 åra. På grunnlag av slike målinger er det beregnet at skogene nå tar opp ca 28 millioner tonn hvert år. Det tilsvarer ca halvparten av alle utslipp i landet. At opptaket er høyt nå skyldes at det etter ca 1950 har blitt drevet omfattende planting etter hogst, skogreising på Vestlandet og nordafjells, og gjengroing av tidligere beitemark. Hvor mye CO<sub>2</sub> kan skogen fange og lagre? Det er et spørsmål med mange svar fordi det er så mange faktorer som påvirker tilvekst og volum.

Plantematerialets vekst og vitalitet er en svært viktig faktor når en skal beregne potensialet for CO<sub>2</sub> opptak og lagring på et gitt areal. Basert på eldre svenske og norske forsøk vet vi nå at foredlet plantemateriale gir en tilvekstøkning som varer fram til skogen er økonomisk hogstmoden, og sannsynligvis enda lengre. Opphavet til tilvekstøkningen er ikke helt klarlagt, men resultater fra en studie av norsk gran plantet i Canada tyder på at vekstkraften skyldes mer effektiv bruk av næringsressursene. Vi kan derfor betrakte foredlet plantemateriale som en heving av stedets produksjonsevne. Da kan vi bruke eksisterende tilvekstmodeller til å beregne hvor mye CO<sub>2</sub>-opptaket øker når en bruker foredlet plantemateriale.

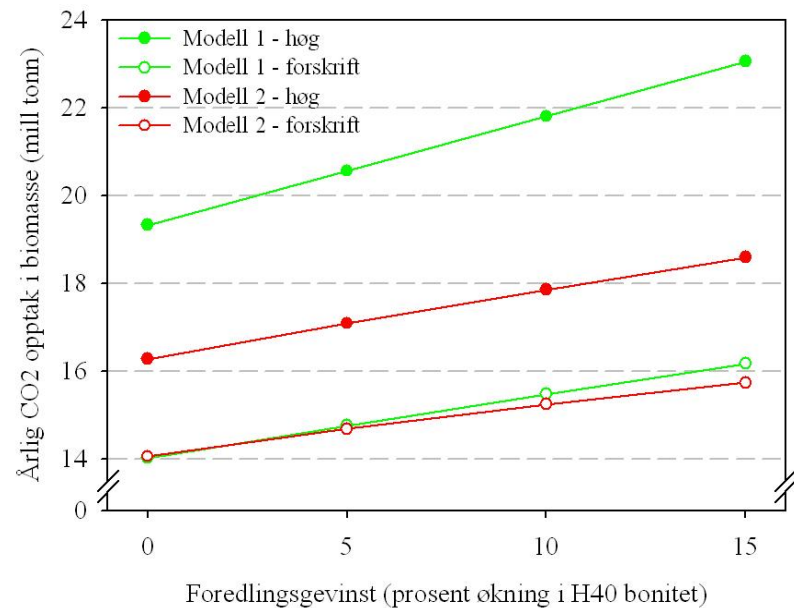
*Figur 3. Utvikling i stående volum av gran i grandominert skog bonitet G11 og bedre, de neste hundre år. Forutsatt at brutto hogstkvantum økes til 9,5 millioner kubikkmeter, at det benyttes foredlet materiale eller bestandsfrø, og at plantetallet er som etter miljøforskriften, eller 180 per dekar på G11 og G14, 220 på G17, 250 på G20 og 250 på G23.*



Stående volum vil øke til 545 millioner kubikkmeter og nesten dobles de neste hundre år, selv om avvirkingen øker til 9,5 millioner kubikkmeter brutto. Volumet tilsvarer ca 980 millioner tonn CO<sub>2</sub>. Grandominert skog av bonitet G11 og bedre utgjør ca 22 millioner dekar av et totalt produktivt areal på 74 millioner dekar. Totalt stående volum i taksten fra 2004-2008 var 780 millioner kubikkmeter. Dette viser at det på under en tredjedel av det totale skogarealet, kan bygges opp et volum av gran som tilsvarer 70 prosent av dagens totale volum i all produktiv skog. Det eneste som kreves er noe tettere planting med foredlet plantemateriale. Prognosen for det laveste alternativet er også interessant da den viser en svak nedgang i stående volum dersom skogeierne bare følger minimumskravene til foryngelse og bare benytter bestandsfrø. Nå er situasjonen den at foredlet frø blir brukt i stadig større omfang, slik at det laveste nivået neppe vil inntreffe, selv om plantetallet fortsatt er lavere enn det som er ønskelig både av hensyn til virkeskvalitet og karbonbinding.

Det må understrekes at prognosene er konservative. Med de nyeste modellene for tilvekst og avgang vil tilvekst og stående volum øke betydelig. Dette er illustrert i figur 4 hvor det årlige opptaket av CO<sub>2</sub> hundre år frem i tid (2108) er beregnet for to alternative tilvekstmodeller, tett planting eller planting etter forskrift og henholdsvis 0, 5, 10 og 15 prosent foredlingsgevinst. Arealgrunnlag og hogst er det samme som i Figur 2. Modellkombinasjon 1 er Blingsmo 1990 for startgrunnflate og Andreassen, Eid og Tomter 2008 for grunnflatetilvekst, kombinasjon 2 er Braastad 1981 for startgrunnflate og Blingsmo 1985 for diametertilvekst. Avgang er modellert med Eid og Øyen 2003.

*Figur 4. Årlig CO<sub>2</sub> binding i granskog med bedre bonitet enn G11 som funksjon av foredlingsgevinst, når det plantes tett (200 på G11 og G14, 300 på G17 og 400 på >G20), og det benyttes to ulike kombinasjoner av tilvekstmodeller, se tekst.*





Vi ser at det er et samspill mellom foredlingsgevinst, modellvalg og plantetetthet, ved at CO<sub>2</sub> opptaket øker mer med økende foredlingsgevinst og tettere planting med modellkombinasjon 1 enn 2. Forskjellene er svært store. Det er grunn til å regne med at modell 2 ikke gir riktig forhold mellom plantetall og tilvekst, men at dette må undersøkes i tiden framover. Uansett viser begge modeller at miljøforskriftens minimumskrav til plantetall gir betydelig redusert C O<sub>2</sub> fangst i skogen som det vil koste mye å ta igjen i andre sektorer.

I disse beregningene er det bare tatt med økningen i CO<sub>2</sub> i levende trær. Alt som inngår i døde stammer og tredeler er holdt utenfor. En del av dette karbonet vil bli omdannet til ganske stabile forbindelser og bygger opp karbonlageret i jorda. En kan, med støtte i blant annet nylig publiserte resultater fra Sverige, anta at når tilførselen av karbon til jorda øker vil også lageret gradvis øke. I så fall vil planteforedling også bidra til økt karbonbinding i jorda.

### **Substitusjonseffekter**

Trevirke brukt som strukturelle materialer til erstatning for blant annet stål, betong, murstein i bygninger og annet, kan gi betydelig reduksjon i klimagassutslippene fra produksjonen av disse materialene. I tillegg vil trevirket lagre karbon gjennom hele levetiden og ved endt bruk kan bioenergien i virket nyttes og erstatte fossile energibærere. Den samlede substitusjonseffekten kan være fra 0,3 til 2,5 tonn CO<sub>2</sub> per kubikkmeter virke alt etter hva virket substituerer for. Generelt vil det være slik at desto mer effektivt virket brukes desto større blir substitusjonseffekten.

Virke med høy styrke vil således ha noe større substitusjonseffekt enn virke med lav styrke. Virkeskvaliteten har dermed betydning også i denne sammenhengen. Planteforedling kan følgelig brukes til å påvirke substitusjonseffektene både kvantitativt og kvalitativt. Fordi det må gjøres så mange forutsetninger når en skal beregne substitusjonseffektene, er dette utelatt her.

### **Råte**

Rotråte og annen råte er et betydelig problem for skogbruket. De årlige tapene på grunn av rotkjukesoppen (*Heterobasidion parviporum*) er anslått til flere hundre millioner kroner. Nylig er det publisert resultater som viser at det produseres store mengder metan når veden av bjørk brytes ned av råte. Mengdeforholdet mellom metan og CO<sub>2</sub> var 1:6 (mol:mol). Metan har ca 20 ganger høyere strålingspådriv enn CO<sub>2</sub>. Hvis det skulle vise seg at det er betydelig metanproduksjon også når rotkjukesoppen bryter ned granved kan en på grunnlag av resultatene i bjørk anslå at skog som råtner vil ha et netto strålingspådriv hvis råtten overstiger 10-15 prosent og råtens nedbrytingshastighet overstiger 4 prosent. Dette kan bety at gammelskogen gir mye mindre klimagevinst enn den høye tilveksten tilsier.

Det å øke motstandskraften mot råttenedbryting i stående skog er allerede et mål for norsk granforedling. En sideeffekt av dette arbeidet kan bli at det også gir skog som har mindre metanutslipp. I så fall er verdien av den delen av foredlingsarbeidet større enn regnet med. Alle disse forholdene bør så snart som mulig studeres nærmere.

## Oppsummering

Skogen blir påvirket av klimaet. Grana har vist seg å ha en meget fleksibel tilpassing til endret temperatur. Samtidig påvirker skogen klimaet på mange måter. Nye forskningsresultater tyder på at skogene er mer avanserte regulatorer av klimaet enn vi har trodd; de kan påvirke temperaturen ved å endre skyalbedo, de kan transportere nedbør innover kontinentene og de kan fange store mengder CO<sub>2</sub> som lagres i biomasse og jord. Planteforedling for økt vekst vil øke CO<sub>2</sub> opptaket vesentlig. På landsbasis er det snakk om flere millioner tonn, avhenging av hvordan skogene skjøttes og hvor mye foredlet materiale som blir brukt. Kostnaden med CO<sub>2</sub> binding ved bruk av planteforedling er svært lav, eller gratis, alt avhengig av beregningsmåte, kalkulasjonsrente og tømmerpris. Samtidig er det få om ingen andre tiltak som monner så mye som bruk av foredlet plantemateriale i kombinasjon med tettere planting.

## Referanser

Johnsen Ø., Kvaalen, H., Yakovlev I., Dæhlen O.G., Fossdal C.G., Skråppa T. 2009. An Epigenetic Memory From Time of Embryo Development Affects Climatic Adaptation in Norway spruce. In: Gusta L, Wisniewski M, and Tanino K (eds): Plant Cold Hardiness- from Laboratory to the Field CABI Publ., 99-10.

Kvaalen, H., Johnsen, Ø. 2008. Bud set in *Picea abies* is regulated by a memory of temperature during zygotic and somatic embryogenesis. New Phytologist. 177: 49-59.

Kurten T., Kulmala M., Dal Maso M., Suni T., Reissell A., Vehkamäki H., Hari P., Laaksonen A., Viisanen Y., Vesala T. 2003. Estimation of different forest-related contributions to the radiative balance using observations in southern Finland. Boreal Environment Research. 8: 275-285.

Makarieva A.M., Gorshkov V.G. 2007 Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1013-1033.

Mukhin, V.A., Voronin, P.Y. 2009. Methanogenic Activity of Woody Debris. Russian Journal of Ecology. 40: 149–153.

Skråppa, T., Tollefsrud M.M., Sperisen C., Johnsen O. 2009. Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies*-Central European trees in a Nordic environment. Tree Genetics & Genomes. 6: 93-99.

Spracklen D.V. , Bonn, B., Carlslav K.S. (2008). Boreal forests, aerosols and the impacts on clouds and climate. Phil. Trans. R. Soc. A. 1885: 4613-4626.