

Klimatilpasset gran i Midt-Norge

Prosjektperiode: 2012 – 2014. Prosjektnummer hos Skog og landskap: 116003

Administrativt ansvarlig: Dan Aamlid, Avdelingsdirektør, Skog og landskap

Prosjektledelse: Arne Steffenrem, Skog og landskap

Avdeling: Biologi og miljø

Forfattere av prosjektrapport: Arne Steffenrem og Tore Skrøppa, Skog og landskap

Samarbeidspartnere: Allskog, Skogplanter Midt-Norge, Skogfrøverket og Skogselskapet i Trøndelag.

Sammendrag

Prosjektet karakteriserer variasjon i fenologi, vekst og klimatilpasning på tre nivåer:

Proveniens-/bestands-, genetisk- og epigenetisk variasjon. Det er tydelig «klinal» variasjon i veksttrykmeegenskaper og vekst mellom provenienser. Det betyr at egenskaper som tidspunkt for knoppsprett på våren, og vekstavslutning og herdighetsutvikling om høsten, varierer systematisk med breddegrad og høyde over havet. Variasjonen mellom bestand og provenienser er moderat i forhold til den genetiske variasjonen mellom avkom fra individer innen hver enkelt bestand. Innen bestand i Nord-Trøndelag finner vi så mye variasjon i f. eks. vekstavslutning at avkom fra 50 m o.h. (Mosvik) og 500 m o.h. (Lierne) overlapper. Hos gran spiller også epigenetisk variasjon helt sikkert en viktig rolle i klimatilpasningen. Den epigenetiske variasjonen vi så langt kjenner blir formet under embryogenesen og frømodningen og gir avkom mer tilpasset miljøet under denne perioden. Vi har kvantifisert denne variasjonen gjennom å studere avkom fra varme og kalde frøår. Middelsestemperaturen i juli og august 2006 var 3-4 grader høyere enn i frøårene 1970, 1992 og 1995. Analyser av vekstrykmedata fra planteskoleforsøk antyder at dette har medført en «forflytning» av vekstrykmen tilsvarende 2-300 m nedover i høydelagene. Det betyr at klimavariasjon fra frøår til frøår kan skape nesten like stor variasjonsbredde som den genetiske variasjonen, og at disse til sammen gir svært gode muligheter for tilpasning til et klima under endring. Hastigheten på tilpasningen er imidlertid forskjellig, epigenetisk tilpasning er rask fra en generasjon til neste, mens genetisk tilpasning vil ta flere generasjoner i naturen.

Skogplanteforedling er ett av de mest effektive verktøyene for økt produktivitet og verdiskaping fra skogen. Vanligvis gjennomføres genetisk seleksjon for økt produksjon og kvalitet, egenskaper som forutsetter god klimatilpasning. Enda sterkere seleksjon for klimatilpasning er mulig siden arvbaheten både for vekststart og vekstavslutning er høy. Dette er imidlertid kostnadskrevende, samtidig som det begrenser mulighetene til å gjøre utvalg for vekst og kvalitet som kan ha større økonomisk betydning. Derfor er det viktig å ha god kunnskap om hvordan epigenetiske mekanismer fungerer og utnytte disse i foredlingen. Utnytter vi den epigenetiske tilpasningen riktig kan vi redusere den genetiske seleksjonen for de samme egenskapene, og øke effektiviteten i foredlingsprogrammet.

Forflytning av genetiske materialer vil være aktuelt ved ønske om å øke volumproduksjonen, for å være i forkant av klimaendringene, i skogplanteforedlingen der individer fra større regioner samles til

frøproduksjon i frøplantasjer med vidt bruksområde, ved knapphet på frø, eller ved kjøp av planter fra produsenter som ikke produserer lokale provenienser. Resultatene i prosjektet viser tydelig at forflytning kan ha både positive og negative effekter på skogproduksjonen. De positive effektene kan utnyttes fullt ut når en kombinerer kunnskap om voksestedets lokalklima og plantematerialenes tilpasning. I praksis er ikke denne kunnskapen tilgjengelig for «alle». Det er derfor ønskelig med verktøy som gjør valg av optimalt plantemateriale enklere og mer effektivt. Det burde være mulig, for resultatene dette prosjektet viser at en stor del av variasjonen på proveniens- eller populasjonsnivå kan modelleres og predikeres (forutsees).

I samarbeid med Skogforsk (Sverige), METLA (Finland) og forskningsinstitusjoner i de baltiske landene, vil Skog og landskap og Skogfrøverket i løpet av 2015 og 2016 utvikle et sett av forflytningsfunksjoner for plantematerialer i Norden. Arbeidet ledes av Skogforsk i Sverige. Sverige og Finland har allerede utviklet slike funksjoner for furu. Forflytningsfunksjonene beregnes på bakgrunn av testing av et svært stort antall provenienser og frøplantasjematerialer over hele Norden. Testingen har foregått i en rekke uavhengige prosjekter og foredlingsprogram. Resultatene samles i en database som blir brukt til å gjennomføre en meta-analyse for å finne materialenes optimale bruksområde som funksjon av breddegrad, høydelag, dagens klima og framtidens klima. Klimadataene vil være basert på de siste framskrivningene av klimascenariene nedskalert til ruter på 5 km. Dataene og kunnskapen generert i prosjektet «Klimatilpasset gran i Midt-Norge» vil være svært viktige som grunnlag for dette arbeidet.

Prosjektøkonomi

Prosjektet ble finansiert gjennom søknad til Skogbrukets utviklingsfond (300 000 kr), Allskog (Skogtiltaksfondet, 300 000 kr) og Skogfrøverket (egeninnsats).

Oversikt over inntekter og kostnader fra Skog og landskaps prosjektrekskap.

Prosjekt 116003 Klimatilpasning hos gran i Midt-Norge 2012 – 2014				
Konto		Regnskap	Budsjett	
3420	Tilskudd fra næringsliv/private	-150 000	-300 000	kr 150 000 fra ALLSKOG mottatt okt. 2012
3442	Utviklingsfondet	-139 729	-300 000	kr 139 729 fra SLF/Utv.f. mottatt nov. 2012
3	Inntekter	-289 729	-600 000	
10	Driftskostnader	73 640		
20	Timekostnader	526 135		
	Sum kostnader	599 775		

Skogfrøverket har bidratt med egeninnsats tilsvarende en verdi på 240 000 ved måling av forsøk som ble brukt i prosjektet. Hovedmengden av arbeidet ble gjennomført i 2012 og var da rapportert på foreløpig prosjektrapport til Skogbrukets utviklingsfond.

Formidling

Vitenskapelige og populærvitenskapelige foredrag

Tittel	Forfatter	Arrangør	Sted	Dato
Nytt frø, nye egenskaper	Arne Steffenrem	NordGen Skog	Gardermoen	23.03.2011
Tree breeding in Mid-Norway	Arne Steffenrem	IUFRO WP 1.01.01	Stiklestad, Verdal	07.09.2011
Skog og klima	Arne Steffenrem	Levanger Rotary	Levanger	08.02.2012
Nytt frø, nye egenskaper	Arne Steffenrem	Skogselskapet i Trøndelag	Stjørdal	05.06.2012
Foredling for bedre granplanter	Tore Skrøppa	Norsk institutt for skog og landskap	Ås	12.06.2012
Epigenetics in practice	Arne Steffenrem, Harald Kvaalen	NordGen Skog	Hamar	22.08.2012
Epigenetics in the forest, practical implications and considerations	Arne Steffenrem, Harald Kvaalen	AdapCAR and IUFRO (WP2.02.00)	Riga	04.10.2012
Epigenetic adjustment of phenology in Picea abies. Does it matter to tree breeding?	Harald Kvaalen, Arne Steffenrem, Tore Skrøppa	Noveltree	Helsinki	16.10.2012
Klimatilpasset gran i Midt-Norge og arealer til nye frøplantasjer	Arne Steffenrem	Fagrådet for skogetablering	Steinkjer	13.03.2013

		i Trøndelag		
Skogplanteforedling i Midt-Norge	Arne Steffenrem	Skogplanter Midt-Norge AS	Stjørdal	22.05.2013
Flytting av plantemateriale	Tore Skrøppa	Skog og tre	Gardermoen	05.06.2013
Skogplanteforedling og framtidsklimaet	Arne Steffenrem	Skog og tre	Gardermoen	06.06.2013
Developing new transfer functions; available datasets from Norwegian provenance and progeny trials	Arne Steffenrem, Tore Skrøppa	Skogforsk, Sverige	Uppsala	15.10.2013
Epigenetikken - venn eller fiende for skogplanteforedlingen	Arne Steffenrem, Harald Kvaalen	Skog og landskap, Seksjon genetikk	Ås	30.10.2013

Planlagte publikasjoner

Forsøk med frøpartier samlet inn i 1970. Tore Skrøppa og Arne Steffenrem. (Planlagt rapport på norsk)

Genetic variation among and within Norway spruce populations in Central Norway. Tore Skrøppa and Arne Steffenrem. (Planlagt publisert i *Silva Fennica* eller *Scand. Journ. For. Res.*)

Årgangseffekter på vekstrytme og klimatilpasning hos gran i Midt-Norge. Arne Steffenrem, Hans Christian Brede, Gisle Skaret, Torstein Myhre og Tore Skrøppa. (Rapport på norsk)

Innledning

Den vanligste foryngelsesformen for gran etter hogst er planting, og i 2013 ble det satt ut ca. 30 millioner planter i året i Norge. I Midt-Norge, der tilgangen på frøplantasjefrø fortsatt er moderat, er 70-80 % av plantene produsert fra bestandsfrø. Valg av frømateriale gjøres i praksis etter sankeområdene og høydelagene hogsten foregår i. Det vil si at ved hogster på ca 200 m i Nord-Trøndelag plantes proveniensen L2.

Fram mot 2100, altså innen et tres levetid, må vi forvente en temperaturøkning på 2,3 - 4,6 °C (Hanssen-Bauer et al. 2009). Spørsmålet er imidlertid om dagens detaljerte inndeling av landet i soner og høydelag er hensiktsmessig i forhold til at vi faktisk vil oppleve "høydelagsforflytning" av klimaet på 3-500 m. Granas plastisitet, det "epigenetiske minnet" og stor genetisk variasjon gjør den robust for klimaforandringer. Men hvordan skal vi best mulig utnytte disse egenskapene for en optimal skogproduksjon? Et stort antall forsøk etablert i Midt-Norge i perioden 1975 – 2010 gir oss nå mulighet til å gjennomføre en skikkelig gjennomgang av veiledningsrutinene for landsdelen.

Hovedmålet med dette prosjektet var å etablere ny kunnskap, samt gjøre tilgjengelig eksisterende nasjonal og internasjonal kunnskap, om granas tilpassing til et klima som endrer seg. Basert på denne kunnskapen skal prosjektet gjøre en kritisk evaluering av dagens veiledningssystem, slik at rådgivende organer, skogplanteskolene og skogeiere være bedre i stand til å ta de riktige beslutningene for valg av foryngelsematerialer for effektiv og sikker skogproduksjon. Prosjektet skal kunne brukes som modell for hvordan tilsvarende problemstilling kan løses for resten av landet.

For å nå hovedmålet skal prosjektet kartlegge variasjon i vekstrytme, klimatilpassing og vekst på proveniens-, bestands- og innen-bestandsnivå, beregne betydning av temperaturer i frømodningsår for vekstrytmeegenskaper og klimatilpassing, beregne parametre for geografisk og årlig variasjon i klimatilpassing, og til slutt utarbeide forslag til veiledningsrutine og informasjonsmodell for tydelig kommunikasjon med brukere.

Denne prosjektrapporten er et sammendrag av hovedkonklusjonene fra tre manuskripter som er under utarbeidelse fra prosjektet:

1. *Forsøk med frøpartier samlet inn i 1970.* Tore Skrøppa og Arne Steffenrem. (Planlagt rapport på norsk)
2. *Genetic variation among and within Norway spruce populations in Central Norway.* Tore Skrøppa and Arne Steffenrem. (Planlagt publisert i *Silva Fennica* eller *Scand. Journ. For. Res.*)
3. *Årgangseffekter på vekstrytme og klimatilpassing hos gran i Midt-Norge.* Arne Steffenrem, Hans Christian Brede, Gisle Skaret, Torstein Myhre og Tore Skrøppa. (Rapport på norsk)

Materialer og metoder

Prosjektet har benyttet seg av en rekke forsøksserier med materialer på proveniens og familienivå (Tabell 1). I to av seriene sammenligner vi også frø-årganger av de samme proveniensene.

Materiale	Etablert	Materiale	Forsøk	Egenskaper
1 (<i>Dietrichson 1970</i>)	Frøsanking 1970. Såing og planteskoleforsøk 1972. Utplanting feltforsøk 1975-1979.	21 bestandsprøver fra Midt-Norge 18 handelsproveniensener.	2 planteskole (Verdal og Grane) 2 langtids (Grane, Røyrvik)	Vekststart Vekstavslutning Skader Høstskudd Overlevelse Vekst til 34 år
2 (<i>genetisk variasjon trøndergran</i>)	Frøinnsamling i 1992. Såing og planteskoleforsøk 1995. Utplanting av feltforsøk 1997	a) Planteskole og korttidsforsøk: 172 familier fra 12 bestand i Midt-Norge pluss to bestand fra Nord-Østerdal b) Feltforsøk: 14 bestandsprøver	1 planteskole (Verdal) 1 korttids (Selbu, 84 fam. fra S-T) 2 korttids (Verdal, Overhalla, 82 fam. fra N-T) 3 langtids (Tydal, Selbu, Lierne, 14 populasjoner)	Vekststart Vekstavslutning Skader Høstskudd Overlevelse Vekst til 18 år
3 (<i>ny-frø forsøkene</i>)	2009-2011	a) 35 frøpartier fra proveniensener og årganger i Midt-Norge b) 25 frøpartier hovedsakelig fra L1 og K3 fra forskjellige årganger	3 planteskole (Melhus, Alstadhaug) 2 korttids (Stjørdal) 2 langtids (Melhus og Grane)	Knoppsetting Tidlighet Vekst til 4 år Vinterskader Overlevelse

Ellers er materialer, målinger og statistiske metoder beskrevet i detalj i de enkelte artiklene som skrives fra prosjektet.

Resultater og diskusjon

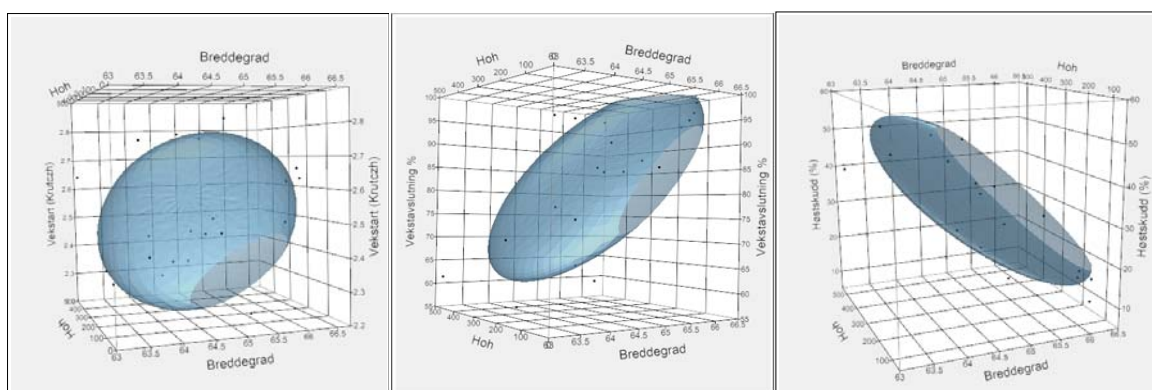
Generell geografisk variasjon i fenologi (vekstrytme)

Provenienser og populasjoner

Forklaringsmodellene presentert i Tabell 1 er beregnet på bakgrunn av bestandsprøver fra kommuner i hele Midt-Norge (Materiale 1). De viser tydelig variasjon i vekststart og vekstavslutning med breddegrad og høydelaag. Koeffisientene i modellene er positive. Det betyr at vekststart er tidligere til lengre nord og høyere opp proveniensene kommer fra. Det samme gjelder vekstavslutning. Forklaringsgradene er høye ($R^2 > 0.70$) til tross for at materialet er samlet fra et begrenset geografisk område. Modellene kan illustreres som 3D modeller som vist i Figur 1. Resultatene er i samsvar med det generelle variasjonsbilde vi finner både i materiale 2 og 3 og er på generell basis beskrevet i litteraturen tidligere (f. eks. Dæhlen et al. 1995).

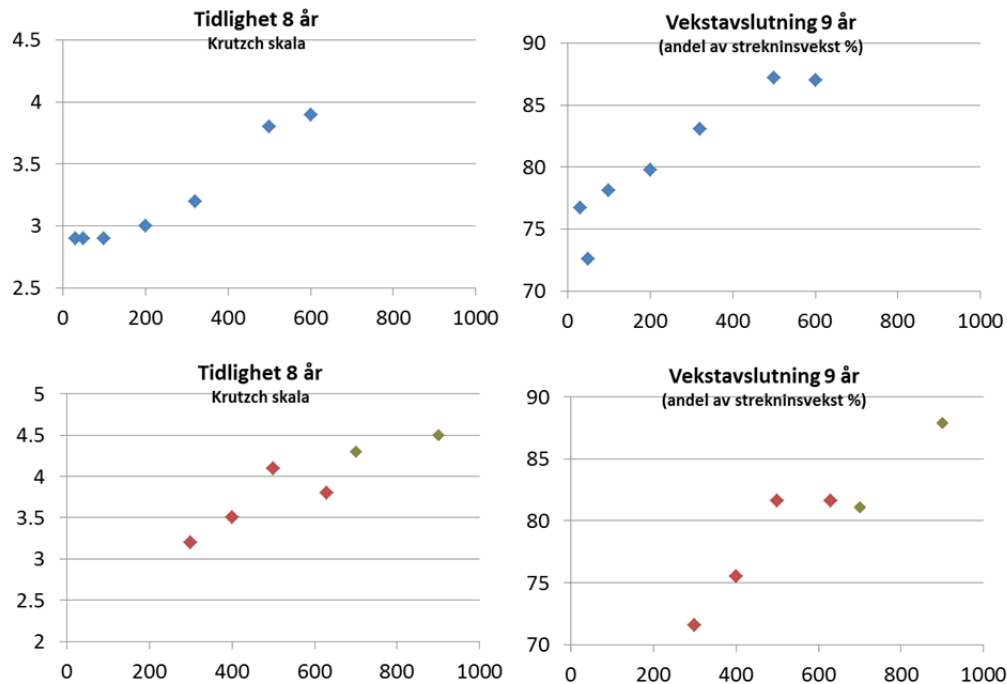
Tabell 1: Forklaringsmodeller for vekststart, vekstavslutning, høstskudd og toppskader som funksjon av breddegrad og høyde over havet. Parametere presentert er forklaringsgrad (R^2) og regresjonskoeffisienter med p-verdi i parentes. (*En proveniens ble fjernet fra dataene i Røyrvik (Grane, 350 moh) da vi mistenker at denne er feil).

Egenskap	R^2	Breddegrad	Hoh
Vekststart, 4 år	0.74	0.094(<.001)	0.0009(<.001)
Vekstavslutning, 1 år	0.82	11.95(<.001)	0.02(0.083)
Høstskudd, 4 år	0.95	-14.62(<.001)	-0.05(<.001)
Toppskader, 20 år, Grane	0.03	0.76(0.522)	0.0021(0.831)
Toppskader, 23 år, Røyrvik	0.21	-0.0009(0.937)	-0.0002(0.049)
Høyde, 20 år, Grane	0.25	-5.68(0.47)	-0.14(0.02)
Høyde, 34 år, Grane (etter tynning)	0.33	-0.22(0.10)	-0.26(0.01)
Diameter, 34 år, Grane (e. tynn.)	0.38	-4.18(0.04)	-0.04(0.01)
Høyde, 23 år, Røyrvik*	0.32	5.10(0.02)	-0.008(0.65)



Figur 1: Modellene beregnet i Tabell 1 kan illustreres som 3D figurer. T.v: Vekststart (tidlighet), midt: vekstavslutning (knoppsetting) og t.h: høstskudd (%).

De samme sammenhengene som vist i modeller og figurer over, er også veldig tydelig i materiale 2 (Figur 2). Det er tydelig kontinuerlige variasjoner med høydelag både i tidlighet og vekstavslutning.



Figur 2: Sammenhengene mellom høyde over havet (x-aksen) og tidlighet og vekstavslutning. Dataene er fra materiale 2, og de proveniensene fra Nord-Trøndelag er øverst (blå) mens de fra Sør-Trøndelag (rød) og Nord-Østerdal (grønn) er nederst.

Genetisk variasjon – variasjon mellom familier

Vi velger å skille proveniens/populasjonsvariasjon fra genetisk variasjon mellom familier. Mye av variasjonen mellom provenienser og populasjoner skyldes genetikk, men her er også en epigenetisk komponent som vi kommer tilbake til. Den rene genetiske variasjonen er enklest å studere mellom familier innen proveniens/populasjon når frøpartiene er produsert samme frøår.

Resultatene i materiale 2 viser at det er svært stor variasjon i vekstrytme mellom familier innen proveniens/populasjon. Når andel planter med knopp ble registrert på en gitt dato høsten 1995, varierte middeltallene i andel planter med knopp fra 27 – 81 % innen populasjonen fra Mosvik (50 m o.h.) og fra 77 – 100 % innen populasjonen fra Lierne (500 m o.h.). Det betyr at populasjoner fra det beste klimaet langs Trondheimsfjorden og det hardeste opp mot til fjellskogen i Lierne inneholder overlappende genetisk variasjon. Det er altså stor genetisk variasjon i fenologiske egenskaper hos gran, og arvbarhetene for egenskaper som tidspunkt for knoppsett om våren og knoppsetting om høsten lå på 0.50 – 0.65 i materiale 2.

Epigenetisk variasjon

Data fra materiale 3, «ny-frø forsøkene», kan brukes til å lage en tilsvarende forklaringsmodell som det vist for provenienser tidligere. Men siden disse forsøkene også inneholder forskjellige årganger av samme proveniens har vi mulighet til å teste effekten av frøåret som en tilleggsfaktor. Det her helt klart at temperaturen under frømodningen har stor betydning (Tabell 2). Forklaringsgraden (R^2) for modellen øker med 16-48 prosentpoeng for vekstrytmeegenskaper. Også for vekst og overvintringsskadene observert etter 2012/2013 vinteren viser temperaturen under frømodningen å

ha gitt utslag. Overvintringsskadene akkumulert fra 2012-2014 og overlevelse er imidlertid dårlig forklart av modellen i helhet, og liten effekt av frøår er påvist. Dette tilsier at det er forskjellige egenskaper ved vinterskadene fra 2012/2013 og 2013/2014 vintrene.

Modellene sier oss altså at økt temperatur under frømodningen forsinker knoppsett på våren og vekstavslutningen på høsten, og fører til bedre vekst. Plantene blir altså tilpasset et varmere klima. Dette har gitt økte overvintringsskader etter en vinter av typen 2012/2013. Det gjenstår imidlertid å finne de bakenforliggende årsakene til at denne vinteren ga dette utslaget.

Tabell 2: Forklaringsmodeller for vekstrytme, vekst og vinterskader i Ny-frø forsøkene (materiale 3). NL50 er nattlengde når 50 % av plantene har satt knopp (Kohmann 1996). I kolonnen med R² er det angitt hvor mye denne økte ved å inkludere temperatursum (Tsum) for frøåret i modellen.

Modell 2	Hoh	Breddegrad	Tsum frøår	R ² (økning av Tsum)
NL50 1. år	-0.002 (0.001)	-0.45 (<.001)	0.002 (<.001)	0.84 (+0.18)
Tidlighet 2. år	0 (0.14)	0.076 (0.008)	-0.001 (<.001)	0.66 (+0.48)
Knoppsett 2. år	0.002 (0.002)	0.477 (<.001)	-0.002 (<.001)	0.81 (+0.16)
Høyde 4. år	-0.007 (0.048)	-2.013 (<.001)	0.008 (0.001)	0.77 (+0.18)
Vintskade 2012/13	-0.033 (0.14)	-4.76 (0.039)	0.041 (0.001)	0.5 (+0.32)
Vintsk. 2012/13/14	0 (0.7)	0.061 (0.12)	0 (0.31)	0.15 (+0.04)
Overlevelse til 2014	0 (0.3)	0.003 (0.68)	0 (0.87)	0.05 (+0)

Vi tror at mye av den variasjonen vi oppfatter som proveniens- eller populasjonsvariasjon (Tabell 1, Figur 1, Figur 2 og Figur 3), skyldes epigenetiske effekter. Temperaturen under frømodningen er nemlig blandet sammen (konfundert) med lokalitetens høyde over havet og breddegrad. Dette betyr nok ikke så mye ved praktisk bruk av frøpartier sanket i skog. Det har imidlertid stor betydning når vi produserer frø i frøplantasjer. For det første vet vi at plantasjenes beliggenhet får direkte effekt på materialenes fenologi (Bjørnstad 1981, Edvardsen 1995, Kohmann 1996, Skrøppa et al. 2007, Johnsen et al. 2009). I tillegg er det sannsynlig at et felles krysningsmiljø i en plantasje vil redusere effekten av materialenes opprinnelse og svekke den klinale variasjonen (Johnsen et al. 2009).

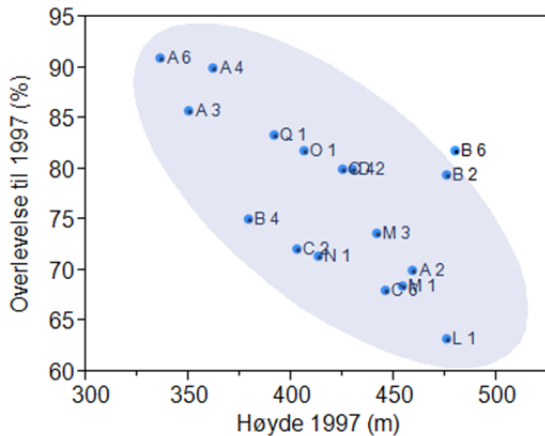
Vekst, høstskudd og skader

Provenienser og populasjoner

I Tabell 1 ser vi at modellen for høyde og diameter i forsøket i Grane antyder veksten er bedre for materialer av sørligere og lavereliggende opphav (koeffisientene er negative). Dette er den generelle trenden en vanligvis ser, og som er grunnlaget for oppfatningen om at man bør flytte materialer litt nordover for å oppnå økt produksjon. Selv om forklaringsgradene er moderate, får vi allikevel en advarsel mot slik praksis når en ser på koeffisientene fra Røyrvik. For breddegrad er den sterkt signifikant og viser at materialer av nordlig opphav har bedre vekst enn sørlig. Det kan skyldes lokalklimaet på testlokaliteten. Muligens er klimaet så tøft at materialer med senere vekstavslutning blir straffet med høyere frekvens av frostskaider. Dette gjenspeiles nok også i modellen for toppskader. Tilpasningen til denne modellen er enda svakere, men antyder at materialer med tidligere vekstavslutning har mindre skader.

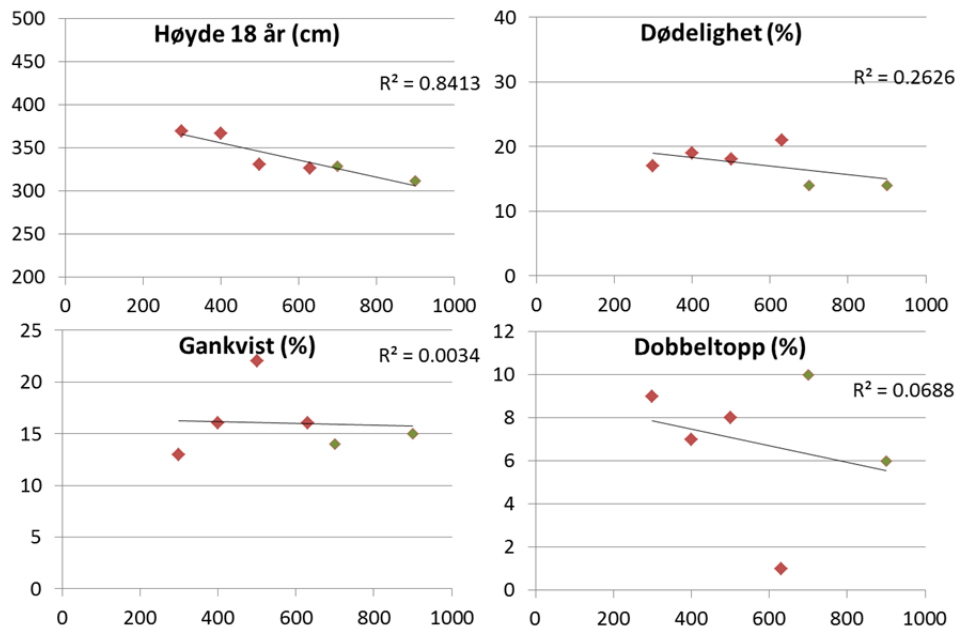
Også frekvensen av høstskudd kan forklares godt av breddegrad og høydelag med R² på 0.95 (Tabell 11). Koeffisientene er negative. Det betyr at det er mindre høstskudd på materialer fra høyere liggende og nordlige provenienser. Planet i 3D modellen i Figur 1 visualiserer dette.

Figur 33 viser sammenhengen mellom høydevekst og overlevelse blant handelsprovenienser fra hele landet testet i forsøket i Grane (Materiale 1). Den geografiske spredningen av materialene her er mye større enn de som ligger til grunn for modellene diskutert over. Her er det helt klart at materialer av sørlig og lavereliggende opphav har bedre høydevekst. Men det er også større avgang blant disse. Til og med L1, som en utgangspunktet skulle tro var en tilstrekkelig herdig proveniens for Helgeland, viser seg å ha høy avgang. Midt i punktsvermen finner vi Helgelandsproveniensen Q1 og O1. A3-A6 vokser senest men har klart best overlevelse.



Figur 3: Sammenhengen mellom vekst og overlevelse for provenienser fra hele landet i Spelrem i Grane.

Også i materiale 2 kunne vi se negative sammenhenger mellom overlevelse og høydevekst på populasjonsnivå. I både Sør- og Nord-Trøndelagsmaterialene gikk tilveksten ned med materialets opprinnelige høyde over havet (f.eks. Figur 4). Etter 18 år i felt ser det ut som høydeveksten øker med ca 3 % for hver 100 m lenger ned i terrenget materialet opprinnelig kommer fra. Figurene viser imidlertid også at innen de gradientene vi har testet her, vil det kunne oppstå problemer med tilpasningen ved for lang flytting.



Figur 4: Sammenhengen mellom proveniensenenes opprinnelige høyde over havet (x-aksen) og høyde, dødelighet, andel gankvist og dobbeltopp etter 18 år i feltforsøk. Dataene er fra materiale 2, Sør-Trøndelag (røde pkt.) og Nord-Østerdal (grønne pkt.).

Analysene av material 2 angir ingen åpenbare regioner eller bestand med bedre vekst og kvalitet enn andre. Det er tydelige forskjeller mellom bestand, men denne er gradvis, klinal, fra sør til nord og lavland til fjell. Avveiningen mellom produksjon og risiko for skader og feil må ligge til grunn for valg av proveniens.

Genetisk variasjon

På familienivå er det sterk sammenheng mellom tidspunkt for knoppsprett om våren og vekstavslutning om høsten ($r = 0.65$). Det er også en negativ sammenheng mellom vekstavslutning og høydevekst ($r = -0.46$). Det betyr at de familiene som skyter og avslutter veksten senere har bedre høydevekst. Det kan skyldes bedre utnyttelse av vekstsesongen, men også at de unngår skader forårsaket av vårfrost om våren. Dette er viktig og må tas hensyn til ved utvalg av familier til foredling slik at en unngår stadig avl mot senere vekstavslutning.

På familienivå var en «positiv» korrelasjon mellom vekst og toppskader, slik at de best voksende familiene hadde en tendens til mer toppskader. Det må tas hensyn til i foredlingsarbeidet av samme grunn som diskutert for vekstavslutning over. I korttidsforsøket på Stiklestad var det også tydelige sammenhenger mellom tidspunkt for knoppsprett, frekvens av høstskudd og toppskader. Tidlig knoppsprett ga der høyere frekvens av høstskudd og mer skader og feil. Dette er stikk motsatt observasjonene på proveniensnivå over.

Planteforedlerne må merke seg at det i materiale 2 for familiene ikke fantes genetiske korrelasjoner mellom knoppsetting på 1-årige planter og vekstrytmeegenskaper registrert senere. Det betyr at slik testing og utvalg i foredlingen ikke har noen hensikt.

Basert på høydedata etter 9 år fra korttidsforsøkene i materiale 2 ble det simulert et utvalg av de 20 % beste familiene for å se hvordan disse presterte etter 18 år i feltforsøk. Responsen ble 11 og 4 % økt høydevekst for henholdsvis Sør-Trøndelags- og den lavereliggende delen av Nord-Trøndelagspopulasjonen. Tilsvarende verdier for diameter ble 7 og 2 %. Utvalget ga ingen tydelige endringer i overlevelse eller skadefrekvenser. For materialene fra høyereliggende deler av Nord-Trøndelag ble bildet imidlertid annerledes. Utvalget ga negativ respons, -8 og -7 %, for henholdsvis høydevekst og diameter. Korttidsforsøket for alle nordtrønderske populasjoner var lokalisert i lavlandet. Testingen var effektiv for populasjonene fra lavlandet. Korttidstesting av høyereliggende materialer i lavlandet kan derimot ikke anbefales.

Verktøy for optimalt valg av plantemateriale

Resultatene som er presentert i denne studien viser tydelig at forflytning av materiale kan ha både positive og negative effekter på skogproduksjonen. De positive effektene kan utnyttes fullt ut når en kombinerer kunnskap om voksestedets lokalklima og plantematerialenes tilpasning. I praksis er ikke denne kunnskapen tilgjengelig for «alle». Det er derfor ønskelig med verktøy som gjør valg av optimalt plantemateriale enklere og mer effektivt. Det burde være mulig, for resultatene fra mange av analysene i dette prosjektet viser at en stor del av variasjonen på proveniens- eller populasjonsnivå kan modelleres og forklares. Den kan dermed også predikeres (forutsees).

I samarbeid med Skogforsk i Sverige, METLA i Finland og de baltiske landene, vil Skog og landskap og Skogfrøverket i løpet av 2015 og 2016 utvikle et sett av forflytningsfunksjoner for plantematerialer i Norden. Arbeidet ledes av Skogforsk i Sverige. Sverige og Finland har allerede utviklet slike funksjoner for furu. Forflytningsfunksjonene beregnes på bakgrunn av testing av et svært stort antall

provenienser og frøplantasjematerialer over hele Norden. Testingen har foregått i en rekke uavhengige prosjekter og foredlingsprogram. Resultatene samles nå i en database som blir brukt til å gjennomføre en meta-analyse for å finne materialenes optimale bruksområde som funksjon av breddegrad, høydelag, dagens klima og framtidens klima. Klimadataene vil være basert på de siste framskrivningene av klimascenarioene nedskalert til ruter på 5 km. Dataene generert i prosjektet «Klimatilpasset gran i Midt-Norge» vil være viktige i dette arbeidet og vil bli lagt inn i databasen.

Anbefalinger fra prosjektet

Valg av plantematerialer av gran er ikke uten betydning, selv om det kan virke som det «meste klares seg» etter etablering. Høydeveksten til en *optimal* proveniens kan være 5-10 % bedre enn middeltallene for alle aktuelle provenienser. Dette betyr i praksis 10-20 % bedre volumproduksjon på sikt. I tillegg vil utvikling av bedre materialer gjennom skogplanteforedling forbedre både vekst og kvalitet.

Utvalg av de beste individene til frøproduksjon i frøplantasjer gir sikrere gevinster i produksjon og kvalitet utover det en kan oppnå med proveniensforflytning. For Midt-Norge bør det differensieres mellom bruksområder for plantasjer for nordre Nord-Trøndelag og Helgeland og søndre Nord-Trøndelag og Sør-Trøndelag. Området rundt Trondhjemsfjorden ligger i en mellom-sone og kan bruke frø fra både nordlig og sørlig plantasje. Det er hensiktsmessig å forholde seg til inndelingen i høydelag slik det er foreslått i Strategisk plan for skogplanteforedling (Edwardsen et al. 2010). Altså deles bruksområdene inn i 0 – 250 m og > 250 m. I området 150 – 350 vil planter fra begge bruksområdene kunne brukes.

Ved valg av provenienser fra vanlig skogfrø er det først og fremst fenologi som gir variasjon i produksjon. På lokaliteter med liten frostrisiko vil valg av sørligere eller lavereliggende materialer kunne øke produksjonen betydelig. Disse vil være minst utsatt for vårfrost og utnytte vekstsesongen mest optimalt. Men på lokaliteter med større risiko for sensommerfrost, og lokaliteter mer eksponert for kalde uttørrende vinder på vinteren, kan lokale mer hardføre provenienser være konkurransedyktig også med hensyn på produksjon. God lokalkunnskap vil derfor kunne ha stor betydning. Effektiviseringene i skogbrukets driftsstruktur har imidlertid ført til at denne lokalkunnskapen i mange tilfeller er vanskeligere tilgjengelig, og behovet for nye veiledningssystemer blir mer prekær. Prosjektet anbefaler derfor at Skogfrøverket og Skog og landskap bidrar i samarbeidet med forflytningsfunksjonene for Norden slik at vi får mulighet til å lage effektive verktøy for valg av plantemateriale over hele landet.

Referanser

- Bjørnstad, Å. 1981. Fotoperiodiske etter-effektar av foreldremiljøet i 1/0-plantar av gran (*Picea abies* (L.) Karst.). Medd. Nor. inst. skogforsk **36**:1-30.
- Dæhlen, A. G., Ø. Johnsen, and K. Kohmann. 1995. Høstfrosterdighet hos unge granplanter fra norske provenienser og frøplantasjer. Autumn frost hardiness in young seedlings of Norway spruce from Norwegian provenances and seed orchards. Rapp. Skogforsk **1/95**:1-24.
- Edwardsen, O. M., A. Steffenrem, O. R. Johnskås, Ø. Johnsen, T. Myking, and H. Kvaalen. 2010. Strategi for skogplanteforedling 2010-2040 (høringsutkast). Stiftelsen Det norske Skogfrøverk / The Norwegian Forest Seed Center, Hamar.
- Edwardsen, Ø. M. 1995. Frø fra Lyngdal frøplantasje til nordnorsk bruk? Vekstrytme og frosterdighet hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) Epledal- & bestandsavkom i et nordlig miljø. Hovedoppgave. Norges Landbrukshøgskole, Ås.

- Johnsen, Ø., H. Kvaalen, I. Yakovlev, O. G. Dæhlen, C. G. Fossdal, and T. Skrøppa. 2009. An Epigenetic Memory From Time of Embryo Development Affects Climatic Adaptation in Norway Spruce. Pages 99-107 in I. Gusta, M. Wisiewski, and K. Tanio, editors. Plant Cold hardiness – from Laboratory to the Field. CABI Publ.
- Kohmann, K. 1996. Nattlengderekasjonen til granplanter fra ulike provenienser og frøplantasjer. Rapport fra Skogforsk **15**:20 pp.
- Skrøppa, T., K. Kohmann, Ø. Johnsen, A. Steffenrem, and Ø. M. Edvardsen. 2007. Field performance and early test results of offspring from two Norway spruce seed orchards containing clones transferred to warmer climates. Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere **37**:515-522.