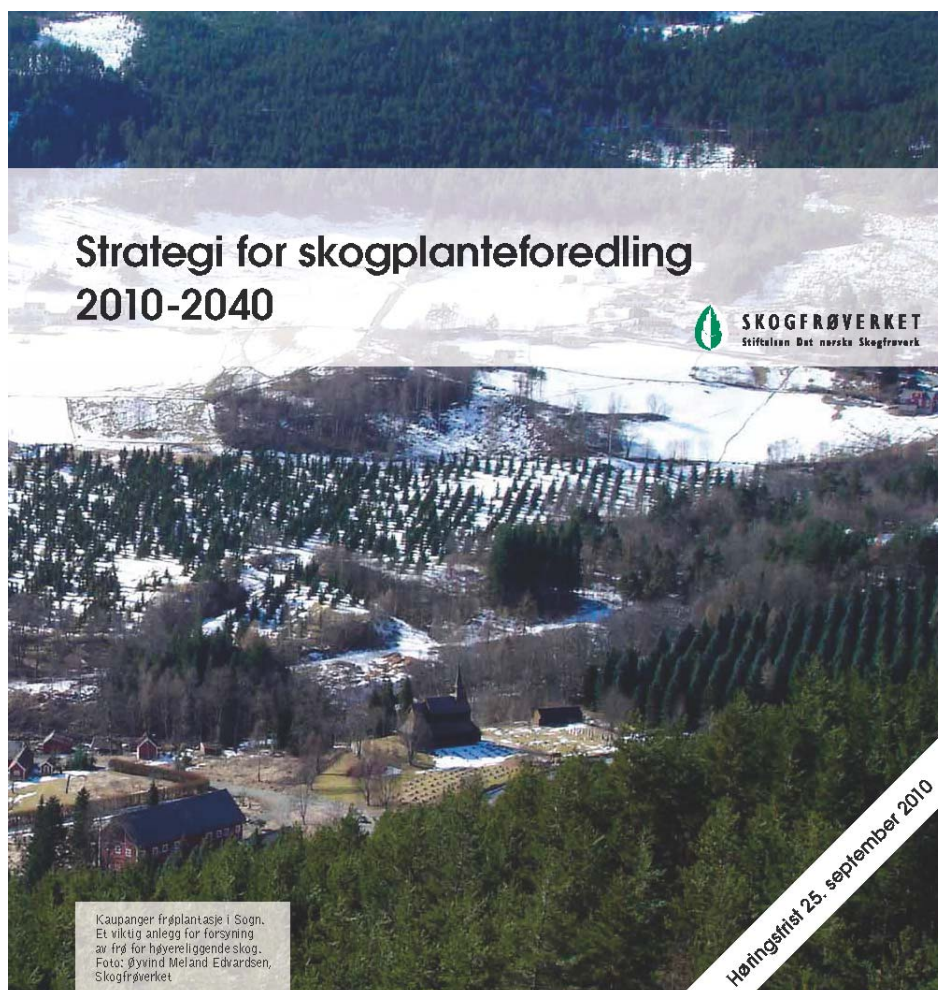


Artikkelsamling: Strategi for skogplanteforedling 2010-2040

Innhold

Genetisk variasjon – i foryngelsesmaterialene og i foredlingspopulasjonen gjennom generasjoner	2
Genetisk gevinst – Det store foredlingsmålet!	5
Mulige fremtidige metoder for planteforedling - kvantitativ genetikk møter molekylær genetikk	12
Bruk av foredla plantemateriale. God økonomi for skogeigaren og samfunnet.	16
Egen frøforsyning og foredling kan gi konkurransefortrinn i juletrebransjen	19
Foredlingspopulasjoner og beredskap for raske klimaforandringer.....	22
Kor stort vert det framtidige behovet for granfrø?.....	25



Genetisk variasjon – i foryngelsesmaterialene og i foredlingspopulasjonen gjennom generasjoner

Tore Skrøppa, Norsk Genressurssenter og Tor Myking, Institutt for Skog og landskap

De fleste treslag har en betydelig genetisk variasjon i egenskaper som har betydning for klimatilpasning, volumproduksjon og kvalitet. Grana, som er best undersøkt av våre treslag, er ikke noe unntak. Innvandringshistorie, naturlig seleksjon, mutasjoner, pollen- og frøspredning, menneskelig aktivitet og tilfeldigheter påvirker den genetiske variasjonen. På våre breddegrader har sannsynligvis naturlig seleksjon rettet mot tilpasning til klimaet størst betydning. Variasjonen vi observerer mellom granplanter fra ulike breddegrader eller høydelag, kan også være påvirket av temperatur og daglengde under blomstring og frøproduksjon. Dette har gjort det mulig for grana å etablere seg raskt i nye miljøer og er en forutsetning for videre evolusjonær utvikling.

Genetisk variasjon i skogen

Grana synes allikevel ikke å ha spesifikk tilpasning til helt lokale klimatiske forhold, spesielt på grunn av utstrakt utvekslingen frø og pollen mellom nabobestand. På regionalt nivå vil likevel genetiske forskjeller mellom bestand i store trekk følge breddegrader og høydelag. Granplanter fra nordlige og høytliggende bestand (provenienser) skyter tidlig om våren og har en kort strekningsperiode med tidlig avslutning av høydeveksten. Deretter utvikler de raskt frostherdighet. Den korte strekningsperioden medfører svakere høydevekst.

Innen naturlige bestand er det samtidig stor genetisk variasjon for de samme egenskapene som varierer mellom provenienser. For eksempel er det for frostherdighet om høsten påvist en variasjonsbredde mellom avkom fra 10 foreldretrær (familier) fra samme bestand som svarer til proveniensforskjeller på 400 m i høydelag eller 3-4 breddegrader. Tilsvarende forskjeller finnes for tilvekstperiodens lengde og for total høydevekst. Forsøkene viser også at mens det for provenienser er systematiske sammenhenger mellom vekstrytme, vekst og herdighet, trenger dette ikke være tilfelle for familier. Det finnes f. eks. familier som både har god høydevekst og tidlig utvikling av herdighet om høsten. Variasjonen mellom familier er det vi kaller additiv genetisk varians. Det er den som vi baserer oss på når vi velger ut foreldretrær som skal produsere frø i en frøplantasje.

For et naturlig bestand kan den store variasjonen være en fordel, særlig under foryngelsen. På et plantefelt, der vi forventer at de fleste plantene skal etablere seg og bli tømmertrær, kan stor genetisk variasjon derimot være en ulempe. I flere forsøk er det vist at lokale provenienser har klart seg betydelig dårligere enn forflytta materialer som har en annen vekstrytme og snevrere genetisk variasjon. Dette kan komme av at de klimatiske forholdene på plantefeltet er forskjellig fra de som var under den naturlige foryngelsen, der trærne ofte kommer opp under skjerm. Den lokale proveniens vil da ikke være det beste alternativ ved foryngelsen. Plantematerialer med kjent vekstrytme, som samsvarer med de klimatiske forhold på lokaliteten, vil kunne være et bedre valg. Dette har vært utnyttet ved forflytning av provenienser, f. eks. ved målrettet bruk av sentskytende provenienser på lokaliteter der det ofte er vårfrost.

Den genetiske variasjonen vi observerer i vekst- og tilpasningsegenskaper er det vi kaller kvantitativ; den er kontinuerlig, er generert av mange gener og er sterkt påvirket av miljøet. Ved hjelp av genetiske markører kan vi studere den genetiske variasjonen i enkelte gen og i deres genvarianter. I store populasjoner kan vi finne genvarianter som opptrer med svært lave frekvenser. Slike genvarianter betyr lite for den totale variasjonen i populasjonen og vil sjelden være knyttet til tilpasningsegenskaper. De vil i de fleste tilfeller være nøytral overfor både naturlig seleksjon og seleksjon som gjøres i foredlingen.

Genetisk variasjon i foryngelsematerialer fra frøplantasjer

Valg av utgangsmateriale er første trinn i foredlingen. For hver sone det skal foredles for, velges et utgangsmateriale (foredlingspopulasjon) som generelt er tilpasset de klimatiske forhold i sonen. Dette materialet kan være fra et geografisk begrenset område, men kan også være basert på tester av vekstrytme. Vi bør ha foredlingspopulasjoner for et nærmere definert antall klimasoner, som varierer fra godt til mer utsatt klima. Hver foredlingspopulasjon bør ha som utgangspunkt et stort antall trær, gjerne 200 trær opprinnelig valgt ut i bestand i skogen, såkalte avlstrær. Dette gir senere muligheter for å gjøre utvalg for flere egenskaper og samtidig beholde en tilstrekkelig stor foredlingspopulasjon.

Det utvalgte materialet bevares som podninger i et klonarkiv eller i en frøplantasje eller som familier med neste generasjon plantet i avkomforsøk. Resultater fra en lang rekke avkomforsøk viser at det er stor genetisk variasjon mellom de enkelte familiene for de fleste egenskaper, og dermed også mellom avlstrærne. Dette tross i at de alle er valgt ut med fenotypisk gode egenskaper. Testing med avkomforsøk på flere lokaliteter er derfor nødvendig for å kunne gjøre et utvalg av trær for videre foredling. Samtidig må en ha kontroll med at uønskede egenskaper ikke dras med. Det er derfor viktig å ha kunnskaper om de genetiske sammenhengene mellom ulike egenskaper og ta hensyn til disse i foredlingen.

Fra den opprinnelige foredlingspopulasjonen kan det gjøres to typer av utvalg i avkomforsøk. Det første utvalget er foreldretrærne som skal produsere frø i en frøplantasje. Et utvalg på mellom 30 og 50 av avlstrærne til frøplantasjen vil være tilstrekkelig til å opprettholde nesten all genetisk variasjon i de egenskapene som det ikke gjøres utvalg for. Det kan vises ved modellstudier at selv med et så lite antall som 10 foreldretrær vil 95 % av den additive genetiske variasjonen bli opprettholdt. I frøplantasjen kommer foreldretrærne fra mange bestand innen samme klimasone, noe som gir en økt genetisk variasjon sammenlignet med den en har i frø samlet inn i ett bestand. En del av pollenet som bidrar til krysningene i frøplantasjen, kommer fra bestand utenfor plantasjen. Dette utvider den genetiske variasjonen betydelig og bidrar til at de fleste genvarianter i den naturlige skogen også finnes blant frøplantasjeavkommene. Trær som kommer opp etter naturlig foryngelse i plantefeltene bidrar også til økt variasjon. Det er vist i flere studier basert på genetiske markører at variasjonen ikke er redusert i avkom fra frøplantasjer.

Egenskapene det gjøres utvalg for, herdighet og andre tilpasningsegenskaper, vekst og kvalitet, vil få en redusert variasjon i foryngelsematerialene sammenlignet med den opprinnelige populasjonen og sammenlignet med materialer fra frø høstet i bestand. Den reduserte variasjonen består i hovedsak i en mindre andel av trær med lite ønska egenskaper. Dette vil gi en mer homogen produksjonsskog med en mer forutsigbar og mer

definert produksjon under gitte miljøforhold. En bærekraftig foredling, spesielt etter seleksjon basert på informasjon fra avkomforsøk på flere lokaliteter, vil produsere trær som er mer fleksible og robuste og som forventes å klare varierende miljøforhold bedre enn de fra uforedlet frø. Allikevel vil det, som nevnt ovenfor, være en betydelig genetisk variasjon i plantefeltene med planter fra frøplantasjefrø.

Genetisk variasjon i langsiktig foredling

Den andre typen av utvalg er for å etablere neste generasjons foredlingspopulasjon. Etter krysninger gjort mellom en gruppe utvalgte foreldretrær, som kan være av størrelse 50 trær, produseres familier med avkom som plantes ut i forsøk. På grunnlag av all genetisk informasjon om hver tre og deres slektninger fra forsøkene velges individer som skal utgjøre neste generasjons foredlingspopulasjon. Alternativt kan individer med identifisert mor med gode egenskaper velges ut i plantefelt. De utvalgte individene oppformerer, og neste generasjons foredlingspopulasjon settes sammen. I den langsiktige foredlingen blir det viktig å opprettholde genetisk variasjon, spesielt ved å unngå skadelige effekter av innavl. Individene som velges ut må derfor i størst mulig grad være ubeslektet og komme fra et stort antall familier. En foredlingspopulasjon på størrelse 50 individer i hver generasjon vil føre til et lavt tap av genetisk variasjon over tid.

Flere slike foredlingspopulasjoner bør etableres, hver satt sammen av avlstrær fra en bestemt klimasone. Den totale variasjonen som bevares gjennom foredlingen, vil da bestå av genetisk variasjon både mellom populasjoner og innen populasjonene. Avkommene som genereres fra foredlingen i disse populasjonene vil til sammen dekke en stor del av variasjonen som finnes i den norske granskogen i dag. Mange foredlingspopulasjoner gir en stor fleksibilitet i foredlingen og med muligheter for å generere plantermaterialer med tilpasning til svært forskjellige klimaforhold. Bare en liten del av granskogen etableres gjennom skogkultur. Store areal vil fortsatt bli etablert ved naturlig foryngelse, basert på foreldretrær som ikke er valgt ut gjennom foredling. Den framtidige granskogen i landet vil derfor bli sammensatt av ulike typer materialer, noen som bidrar til å opprettholde stor genetisk variasjon.

Genetisk gevinst – Det store foredlingsmålet!

Arne Steffenrem, Skogfrøverket/Institutt for Skog og landskap) og Harald H. Kvaalen, Institutt for Skog og landskap

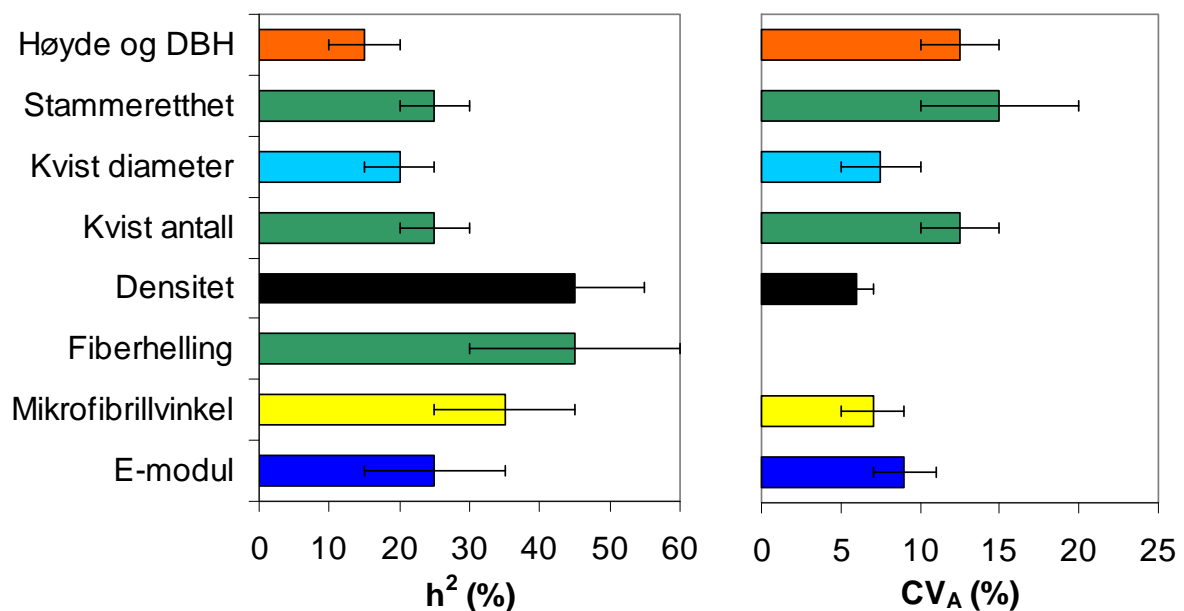
Målet med planteforedlingen er kunne levere frø som gir planter med bedre genetiske egenskaper enn det en ville fått uten foredling. Denne forbedringen kalles genetisk gevinst. Den kan måles i volum, økning i bonitet, kvalitetsegenskaper eller kroner og øre. Mulighetene for genetisk gevinst avhenger i stor grad av tilstedeværelsen av genetisk variasjon i populasjonen, og om dette er variasjon vi kan utnytte ved å gjøre utvalg i.

Genetisk variasjon

Hos trær er det stor fenotypisk variasjon i de fleste egenskapene vi studerer. Fenotypisk variasjon er forskjellene vi kan se fra tre til tre i skogen. Vi ser variasjon i vekstrate, kvistsetting, stammeform og virkesegenskaper. Fenotypiske variasjon (V_F), kan deles inn i variasjon som skyldes miljøet (V_E) og variasjon som skyldes additiv arv (V_A).

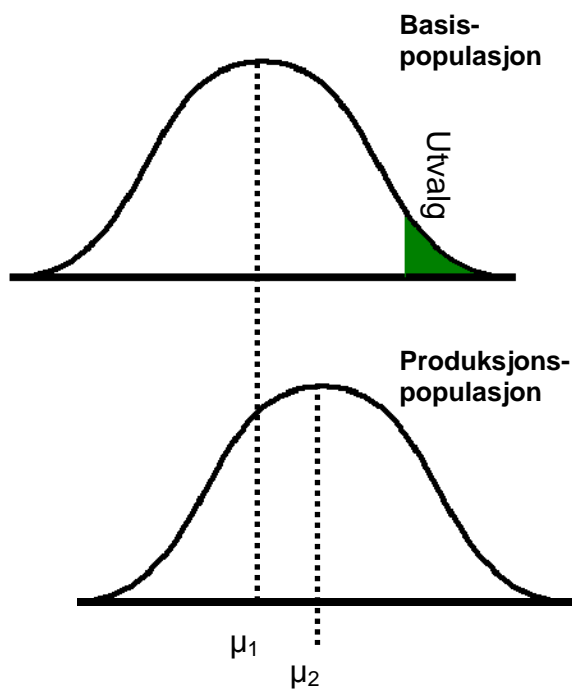
$$V_F = V_E + V_A$$

En av de viktigste genetiske parametrene vi bruker er arvbarheten (h^2) til en gitt egenskap. Denne angir andelen av genetisk variasjon i forhold til den totale fenotypiske variasjonen og kan uttrykkes i prosent. En annen viktig parameter er den genetiske variasjonskoeffesienten (CV_A). Den angir hvor stor den additive genetiske variasjonen er i forhold til egenskapenes gjennomsnitt. I figur 1 er nivået på de to parametrene illustrert som stolpediagrammer. Estimater på disse parametrene varierer mellom forsøk. Dette er illustrert med feilindikatoren på stolpene.



Figur 1: Arvbarheter (h^2) og additive genetiske variasjonskoeffesienter (CV_A) for viktige egenskaper i produksjonsskogen. Manglende CV_A for fiberhelling skyldes ikke mangel på variasjon men vanskeligheter med å estimere denne. Verdiene er omtrentlige gjennomsnitt av parametre fra internasjonal litteratur og norske forsøk. Feilindikatorerne viser i hvilket område de vanligste estimatene ligger.

Genetisk gevinst

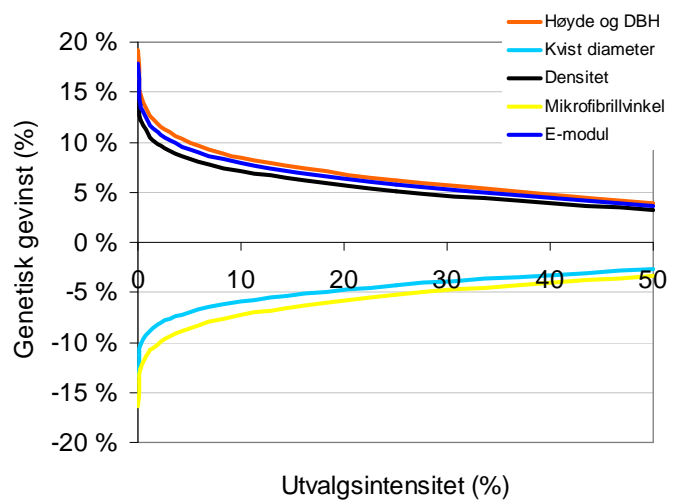


Figur 2

I Figur 3 er den *potensielle* genetiske gevinsten vist som en funksjon av utvalgsintensiteten. Beregningene er gjort for fremoverrettet utvalg; utvalg av de beste fenotypene i skogen (plusstre-utvalg). De negative verdiene for kvistdiameter og mikrofibrillvinkel illustrerer at vi kan gjøre et utvalg for å redusere kviststørrelsen og vinkelen til mikrofibrillene. Det er viktig å merke seg at disse beregningene kun er gyldige for utvalg for en og en egenskap. Som vi senere skal se er det vanskelig å oppnå denne gevinsten i alle egenskapene samtidig.

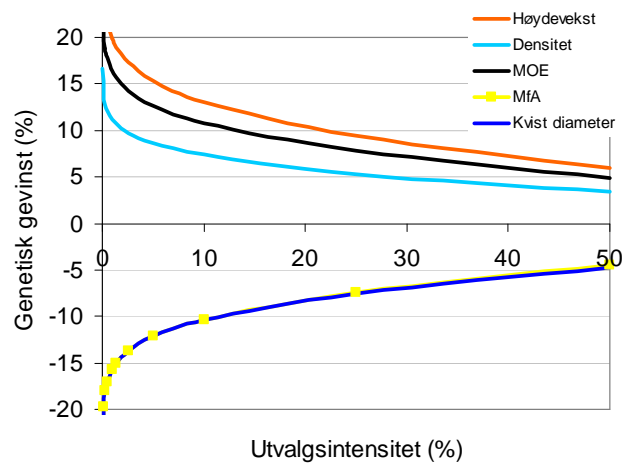
Den genetiske variasjonen kan vi utnytte ved å velge de beste individene som foreldre til neste generasjon. I Figur 2 er den fenotypiske variasjonen for f. eks. høydevekst illustrert som en normalfordelt populasjon. Utvalget vi gjør ligger til høyre i fordelingen. Dette er de beste individene. Bruker vi disse som foreldre i en frøplantasje forventer vi at dette vil flytte gjennomsnittet i neste generasjon mot en høyere verdi. Forflytningen mot høyre kalles genetisk gevinst (ΔG). Hvor mye dette gjennomsnittet flyttes avhenger av: 1) hvor mange individer vi velger fra første generasjon (utvalgsintensiteten, i), 2) arvbarheten og 3) den additive genetiske variasjonskoeffesienten.

$$\Delta G = i \cdot v h^2 \cdot CV_A$$



Figur 3

Presisjonen i foredlingsarbeidet øker når familier kan testes i avkomforsøk. Vi har i dag mange familier i test og arbeidet pågår med å velge ut de beste for å forbedre frøplantasjene ytterligere. Ved utvalg av de beste foreldretrærne, basert på testing av deres avkom i forsøk, oppnår vi høyere genetisk gevinst enn ved rent framoverrettet. I figur 4 er beregninger for potensiell gevinst ved utvalg av de beste familiene presentert for de samme egenskapene som over. Som for i figur 3 er disse estimatene kun gyldige for utvalg av en av disse egenskapene.



Figur 4

Gevinsten ved bruk av foredlet frø i dag

En regner med at avkom fra dagens frøplantasjer har 10-15 % bedre høydevekst i ungdommen, og like god eller bedre kvalitet, sammenlignet med bestandsavkom. Gevinsten i vekst kommer sannsynlig vis av en kombinasjon av flere faktorer: 1) Pluss-tre utvalget har vært effektivt og forbedret den genetiske kvaliteten i avlspopulasjonen, 2) det er redusert innavl i frøplantasjene sammenlignet med naturskog, og 3) godt klima der frøplantasjen er lokalisert gir fysiologiske effekter (ettereffekter) slik at trærne utnytter vekstsesongen mer optimalt.

Økt foredlingsgevinst ved bruk av testede avlsmaterialer

På kort sikt (0-10 år) handler utvalgsarbeidet om å bruke informasjon fra avkomforsøk til å velge ut de beste familiene (avlstrærne) for frøproduksjon i testede frøplantasjer. Da er beregningene vist i Figur 4 gyldige. Gevinsten vi kan få fra denne prosessen kommer i tillegg til den gevinsten vi har ved å bruke frøplantasjefrø i dag. I tillegg vil det være mulig å gjøre sterke utvalg for egenskaper som er viktige for virkeskvaliteten. Det vil imidlertid være forskjell mellom foredlingspopulasjonene for hvor mye vi kan vinne med familieutvalget. Siden de genetiske parametrene er relativt stabile mellom populasjonene, er det først og fremst antall testede familier innen hver populasjon som avgjør mulighetene for gevinst.

Tabell 1: Potensiell genetisk gevinst ved utvalg av de beste familiene. Beregningene er basert på antall familier i test og forutsetter at frøplantasjen skal inneholde 60 avlstrær. Beregningene er kun gyldige ved utvalg for en av egenskapene.

Sone	Høydelag	Antall avlstrær til frøplantasje	Utvalgsintensitet	Potensiell gevinst (ΔG)			
				Høyde	Densitet	MfA	Kvist diam.
G1	1-3	60	5 %	15 %	8 %	-12 %	-12 %
G2	4-6	60	16 %	12 %	6 %	-9 %	-9 %
G3	7-9	60	25 %	10 %	5 %	-7 %	-7 %
G4	1-3	60					
G5	1-2	60	13 %	13 %	6 %	-10 %	-10 %
G6	3-5	60	20 %	10 %	5 %	-8 %	-8 %
G7	1-2	60	30 %	8 %	5 %	-7 %	-7 %

Basert på genetiske parametre, som vist i Figur 1, og antallet familier i forsøk kan vi beregne mulighetene for genetisk gevinst ved utvalg for forskjellige egenskaper. Beregninger for utvalg av de beste familiene basert på de materialene vi har i dag er vist i Tabell1. Som vi ser er det relativt store gevinster å hente så lenge en gjør utvalg for en og en egenskap. I kalkylene over er det ikke tatt hensyn til at en del av pollenet i frøplantasjene kommer fra skogen i området rundt. Da denne ikke er foredlet må vi redusere den forventede gevinsten med 10-20 %.

Utvalg for flere egenskaper

Vi vet at den økonomiske verdien av produksjonsskogen avhenger av både volum og kvalitet. Derfor ønsker en ofte å gjøre utvalg for flere egenskaper samtidig slik at det oppnås forbedring både i volum og kvalitet. Tradisjonelt er virkeskvalitet i skog knyttet sterkt til andelen skurtømmer. Da er det først og fremst skader som krok, råte, tennar, doble stammer og størrelsen på kvist som gir nedklassing til mindre verdifulle sortimenter. For industrien er også vedens tetthet, densitet, og formstabiliteten på skurlasten viktig. Det er derfor mange egenskaper en kan se for seg bør innlemmes i utvalgsarbeidet. Ved utvalg for flere egenskaper må en lage en indeks der de egenskapene en ønsker å gjøre utvalg for blir vektet mot hverandre. Vektene bør helst ha et økonomisk fundament. Det er flere problemstillinger som begrenser effektiviteten ved utvalg for flere egenskaper. Her vil vi kort diskutere de viktigste.

Genetiske korrelasjoner

Flere av de egenskapene en ønsker å forbedre i en populasjon er genetisk korrelert. Det vil si at utvalg for å endre gjennomsnittet i en egenskap, også vil påvirke gjennomsnittet i en annen egenskap. Noen korrelasjoner er gunstige. Det vil si at endring av egenskap y_1 har positiv virkning også på egenskap y_2 . Andre korrelasjoner er ugunstige. Det vil si at utvalg for y_1 har uheldig effekt på y_2 .

Tabell 2: Oversikt over viktige genetiske korrelasjoner.

y_1	y_2	Genetisk korrelasjon	Betydning i praksis
Gunstige			
Tidlighet	Vekst	-0.3	"Sene" familier er mest herdige mot vårfrost og vokser bedre
Ugunstige			
Vekst	Kvistdiameter	0.6	Familiene som vokser raskest kan ha høyere kvistdiameter enn gjennomsnittet
Vekst	Densitet	-0.5	Familiene som vokser raskest kan ha lavere densitet enn gjennomsnittet
Vekst	Stammeretthet	0.2	Familiene som vokser raskest kan ha noe mer slengete stamme enn gjennomsnittet
Vekst	Mikrofibrill vinkel	0.5	Familiene som vokser raskest kan ha høyere mikrofibrillvinkel enn gjennomsnittet

Når det gjelder de ugunstige korrelasjonene er det ofte viktig å ta stilling til om utvalg for y_1 kommer til å påvirke y_2 i så stor grad at dette får betydning for verdien av skogproduksjonen. Korrelasjoner som er mindre enn $|0.3|$ sies å være svake korrelasjoner.

Det vil si at utvalg for y_1 uten å ta hensyn til y_2 får liten praktisk betydning for y_2 på sikt. Derimot kan korrelasjoner som er sterkere få betydning dersom en ikke også gjør utvalg for y_2 samtidig. Utvalg for flere egenskaper som er ugunstig korrelert samtidig vil redusere den forventede gevinsten i hver enkelt egenskap betydelig. En må derfor ta stilling til om det er tilstrekkelig å gjøre et forsiktig utvalg for f. eks. y_2 , for å holde denne konstant, samtidig som en optimaliserer y_1 . Et slikt valg kan være aktuelt i "konfliktene" mellom vekst, kvistdiameter, densitet og mikrofibrillvinkel. Som vi ser i Tabell3 må vi forvente at densiteten går ned med ca 4 %, og kvist diameteren og mikrofibrillvinkelen øker med henholdsvis ca 5 og 2 % for hver 10 % vi øker høydeveksten med så lenge kvalitetsegenskapene ikke er tatt hensyn til i foredlingen.

Tabell 3: Forventet endring i densitet, kvist diameter og mikrofibrillvinkel (MfA) ved hver 10 % vi øker høydeveksten gjennom foredling. Beregningen forutsetter at vi kun foredler for økt høydevekst. De observerte gjennomsnittene for densitet og kvist diameter varierer mye og er kun veiledende.

Egenskap	Effekt av utvalg for høydevekst		
	%	Observert gjennomsnitt	Faktisk endring
Densitet	-4	350 kg/m ³	-15 kg/m ³
Kvist diam.	5	20 mm	1 mm
MfA	2	15°	0.3°

Grana, slik vi kjenner den i dag, er et treslag med gunstige egenskaper både med hensyn på kvist, densitet og mikrofibrillvinkel. Det kan derfor være tilstrekkelig å holde disse konstant samtidig som en gjør utvalg for å optimalisere produksjonen. Men det vil kunne være regionale forskjeller som gjør at vi differensierer mer. I noen områder kan densitet være en svært begrensende faktor for kvaliteten. Der er det kanskje viktig å gjøre utvalg for økt densitet. I andre områder er kanskje densiteten ikke begrensende i det hele tatt. Der kan det være aktuelt å gjøre utvalg for kun vekst, og akseptere en svak nedgang i densitet.

En egenskap som viser ugunstige korrelasjoner med vekst er mikrofibrillvinkelen. Men ut fra de erfaringer vi har i dag, vil ikke utvalg for kun vekst kunne påvirke den i så stor grad at dette får praktisk betydning for verkets stivhet eller formstabilitet. Utvalg direkte for å redusere mikrofibrillvinkelen vil heller ikke kunne redusere den i så stor grad at det får praktisk betydning. Den kan derfor antakeligvis neglisjeres i foredlingen.

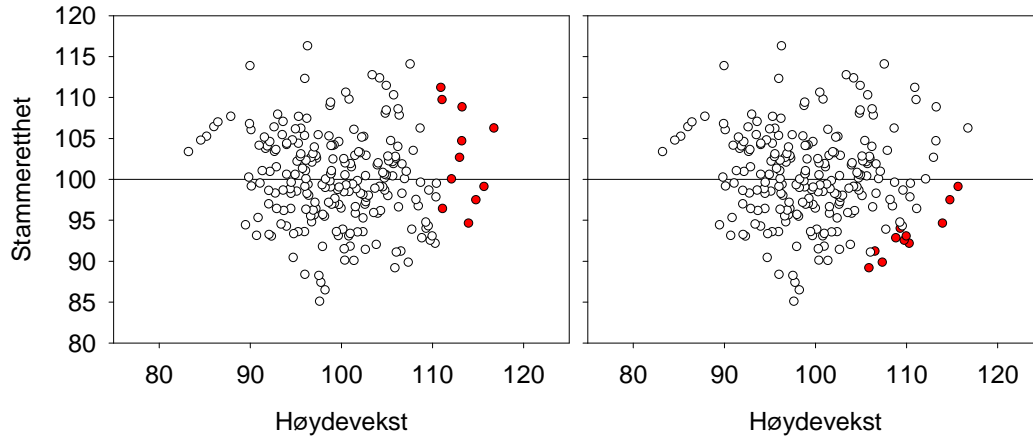
Effekt av flere egenskaper i indeksen

Selv om egenskapene vi inkluderer i indeksen ikke er ugunstig korrelert, vil effektiviteten for hver enkelt egenskap reduseres så lenge vi har en begrenset populasjon å velge fra. Fra eksemplet under kommer det tydelig fram at utvalg for å forbedre stammerettheten reduserer den potensielle gevinsten for høydevekst. Hvis en skal kombinere disse egenskapene bør en derfor ha en formening om at den forbedrete stammerettheten vil veie opp for produksjonstapet som redusert vekst medfører.

Eksempel 1: utvalg for to ikke-korrelerte egenskaper

Eksemplet er basert på avkomforsøk med 250 familier fra Sanderud frøplantasje (Sone G1). I en situasjon der en gjør utvalg for kun høydevekst (Figur 5, venstre) vil en kunne oppnå hele 15 % gevinst i vekst ved å velge de 5 % beste familiene. Hvis en også skal gjøre utvalg for

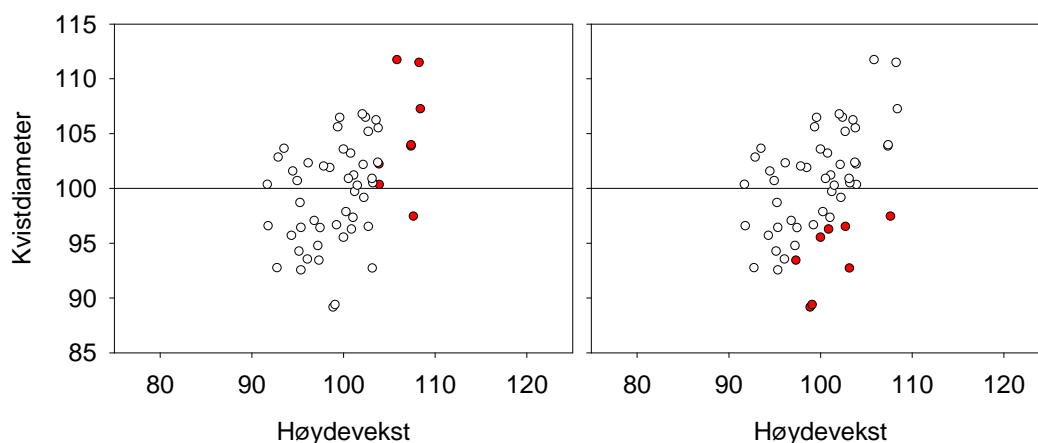
stammeretthet, og vokter vekst og stammeretthet likt, vil gevinsten i form av vekst ligge på ca 10 % samtidig som stammerettheten blir forbedret. Egenskapene er så godt som ikke korrelert. Allikevel vil utvalg for to egenskaper samtidig redusere gevinsten i høydevekst betydelig når en sammenligner med utvalg for bare høydevekst.



Figur 5: Genetisk sammenhengen mellom høydevekst og stammeretthet. De valgte familiene, i henhold til scenarioene i eksemplet, er markert som røde punkter. Figuren til venstre viser et utvalg der en kun velger for bedre høydevekst. Figuren til høyre viser et utvalg fra samme materiale der en legger like stor vekt på stammeretthet som høydevekst.

Eksempel 2: utvalg for to uheldig korrelerte egenskaper

Eksemplet er basert på avkomforsøk med 55 familier fra Svenneby frøplantasje (Sone G2). Det er en genetisk sammenheng mellom høydevekst og kvistdiameter. Dersom en gjør utvalg for bare høydevekst (Figur 6, venstre) vil en i dette tilfellet kunne oppnå ca 9 % genetisk gevinst i vekst ved å velge de 16 % beste familiene (som er realistisk for denne sonen). I et tilfelle der man gjør utvalg for begge egenskapene samtidig øker man veksten med ca 3-4 % og reduserer kvistdiameteren med ca 5 %.



Figur 6: Den genetiske sammenhengen mellom høydevekst. De valgte familiene, i henhold til scenarioene i eksemplet, er markert som røde punkter. Figuren til venstre viser et utvalg der en kun velger for bedre høydevekst. Figuren til høyre viser et utvalg fra samme materiale der en legger like stor vekt på kvistdiameter som høydevekst.

Optimalisering gjennom god skogskjøtsel med foredlede trær

Det er viktig å se planteforedlingen og skogskjøtselen som en helhet. Planteforedlingen kan gi skogeieren det beste utgangspunktet i form av gode gener i produksjonsskogen. Men miljøet, som skogeieren kan manipulere gjennom å regulere bestandstetthet, har fremdeles veldig stor betydning for sluttproduktet – tømmeret. Det kommer klart frem i avsnittene over at foredlingen må begrenses til noen få egenskaper. En bør derfor gjøre seg opp en mening om hvilke egenskaper det er viktig å forbedre gjennom genetisk utvalg, - og hvilke en skal kontrollere gjennom god skogskjøtsel.

En mulighet er å gi de egenskapene som er lettest å kontrollere med regulering av bestandstetthet, som f. eks. kvistdiameter og densitet, mindre oppmerksomhet i foredlingen. Men det forutsetter at materialer som er foredlet for større vekstkraft brukes i riktig kombinasjon med plantetall og aller viktigst, utgangstetthet. 15 % økning i høydetilveksten oppnådd gjennom bruk av foredlede materialer, kan sidestilles med en bonitetshevning på ca én bonitetsklasse. Ved bruk av disse materialene på boniteter fra G17 og oppover bør derfor **utgangstettheten**, ligge i øvre sjikt av det miljøforskriften for skogbruket anbefaler. Det vil i praksis bety en økning i plantetallet på ca 20 % i forhold til bruk av uforedlet frø (f. eks. bestandsfrø).

Bruk av foredlede materialer krever altså kunnskap hos den som skjøtter skogen om det genetiske potensialet i det materialet som plantes. Når vi skal etablere en foredlingsstrategi, ta valg angående foredlingsmål, må dette derfor gjøres i full overensstemmelse med de mål og muligheter en har i skogbehandlingen. Vi må f. eks. unngå at mangel på forståelse mellom planteforedlingen og skogskjøtselen fører til at sterkt vekstforedlede materialer plantes med for lave plantetall på høye boniteter. Derfor er det også viktig at planteforedlingen informerer godt om hvilke egenskaper som er trukket med i foredlingen, og hva en kan forvente av genetisk gevinst både i form av vekst og kvalitet. De beste genetiske materialene må altså kombineres med god skogskjøtsel. På arealer der skogproduksjon er av sekundær interesse kan det være like bra å bruke plantematerialer som ikke er foredlet.

Mulige fremtidige metoder for planteforedling - kvantitativ genetikk møter molekylær genetikk

Øystein Johnsen, Igor A Yakovlev og Mari Mette Tollefsrud, Institutt for Skog og landskap

Skogtrærne er av de arter som kjennetegnes med stor genetisk variasjon. Dette gjelder gran i særdeleshet. Genetisk variasjon hos skogtrær har tradisjonelt blitt undersøkt gjennom å måle kvantitative karakterer (høyde, volum, virke kvalitet, frostherdighet, vekstrytme, skader og feil) hos trær som vokser under like miljøbetingelser, i feltforsøk eller under kontrollerte betingelser i veksthus eller klimarom.

Vi bruker kvantitativ genetikk i foredlingsarbeidet

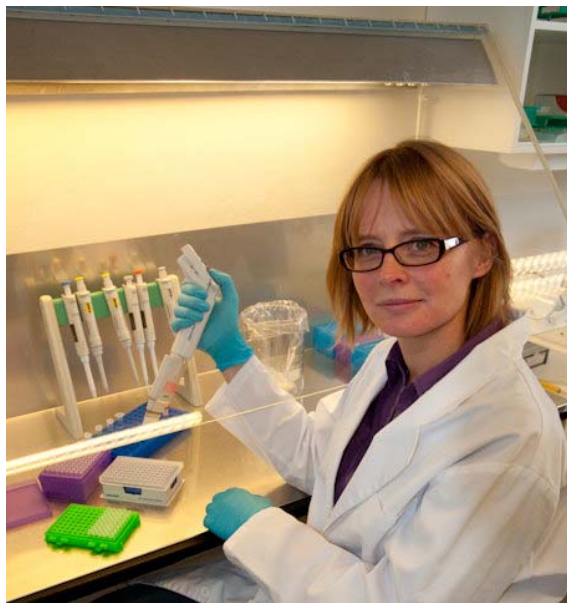
En fenotype refererer seg til hvordan individet (f. eks. et tre) ser ut og oppfører seg. Med en genotype mener vi et individs genetiske sammensetning, som er hele den arvelige informasjonen som gjør at fenotypen lever og utfolder seg. Fenotypen, som kan defineres som summen av genotypen og miljøet, måles gjennom feltforsøk eller andre typer forsøk som legges over miljøgradienter. Ved å bruke familier (avkom fra en kjent mor og/eller far) eller kloner (vegetativt formerte individer av samme genotype) i forsøkene, kan man så separere hvilken betydning genotypen har hatt og hvilken betydning miljøet har hatt for utviklingen av egenskapene. I tillegg kan man også finne ut hvilken betydning samspillet mellom genotypene og miljøene har hatt. Vi klarer å skille mellom genetiske og miljømessige variasjonsårsaker ved hjelp av statistiske analyser fordi slektskapet til fenotypene er kjent. Søskene likner på hverandre og de avviker fra grupper av ubeslektede individer (for eksempel andre familier), og dette benytter vi i analysene. Variasjonen i fenotypen, eller variasjonen i de kvantitative karakterer vi måler på fenotypene, er gjerne kontinuerlig, ofte normalfordelte og påvirkes i stor grad av miljøet. Disse kvantitative egenskapene er derimot ikke styrt av et enkelt gen, men av mange gener (se faktaboks). Med kvantitativ genetikk mener vi følgelig studier av arvelige egenskaper som styres av mange gener.

Vi trenger ikke å vite hvilke gener som styrer egenskapene. Allerede i dag har vi oppnådd foredlingsfremskritt uten å vite noe som helst om de enkelte gener som styrer de egenskapene vi ønsker å forbedre. Ved hjelp av avkomforsøk har vi identifisert de foreldrene som statistisk sett har større sjanse for å gi godt frø, gode planter, og til slutt en god og produktiv skog. Fordi hvert tre kan gi mange avkom, er det mulig å lage flere forsøk som samlet gir en ganske presis identifisering av foreldres egnethet i avlen. De trær som gir avkom som egner seg dårlig i en framtidig skog, blir ikke brukt, selv om trærne så fine ut da de ble valgt i skogen der de vokste. Etablering av første generasjons testede frøplantasjer pågår nå med full styrke uten at vi har noen informasjon om alle de genene og deres varianter som ligger til grunn for og styrer disse egenskapene. Testede frøplantasjer (se faktaboks om hvordan vi gjør foredlingen) vil gi rikelig med frø i mange år framover.

Neste generasjon

Når vi så skal lage neste generasjon med foredlingspopulasjoner og frøplantasjer med utgangspunkt i disse foreldrepopulasjonene, støter vi på nye utfordringer. Vi må krysse sammen ubeslektede mødre og fedre på en slik måte at vi lager mange fullsøskenfamilier som hver for seg ikke slekter på andre familier, og så begynner det utfordrende arbeidet

med å finne fram til de få individene (to eller tre) i hver av disse familiene som skal danne grunnlag for neste generasjon. Fordi vi skal velge ut de beste innen hver familie, har vi ikke så gode muligheter til å identifisere disse. Vi kan klonformere individene (for eksempel stiklingsformering) slik at vi få større muligheter til å skille mellom miljømessige og genotypiske årsaker til at nettopp dette familiemedlemmer ser så flotte ut. Alternativt kan vi bruke avanserte konkurransemodeller for å finne de beste, men både teori og praksis viser at dette ikke er fullt så effektivt. Hvis alle stiklingene av et individ utmerker seg, kan vi med ganske stor sikkerhet fastslå at genotypen har gode arvelige egenskaper, og innlemme dette i neste generasjons foredlingspopulasjon. For at vi skal kunne være sikker på at kandidaten er god, må slike forsøk legges på minst tre til fire steder. Disse stedene må være representative for de områdene som foredlingspopulasjonen skal bruke til. I tillegg bør også familiene og deres medlemmer testet i miljøer som er kaldere og varmere enn de tiltenkte områdene, for på den måten å øke muligheter for å finne de mest stabile individene som klarer seg bra over et større miljøspenn. Dette krever store arealer samlet sett, og forsøkene må stelles og passes på. Denne testingen blir følgelig kostbar, og krever at vi har personer som kan utføre arbeidet, og bygge og vedlikeholde kompetanse over lang sikt. I tillegg må vi ha kompetente personer som kan gjennomføre krysninger, indusere blomstring, lage frø og klonformere familiemedlemmene og holde styr på deres slektskap. Intensiv foredling vil derfor kreve mange ressurser, og bør først og fremst gjennomføres for Norges mest produktive skogarealer i lavlandet og midlere høydelag.



Kartlegging av genetiske markører på gran. Foto: Skog og landskap

DNA-fingeravtrykk kan spare oss for mye arbeid

Hvis man ikke tar seg råd til å gjennomføre slik foredling over hele landet, kan man bruke DNA-markører. Disse kan brukes til å etablere stamtavler mellom foreldre og avkom i de plantefelt hvor skogeieren har brukt planter som stammer fra frø produsert i testede og utestede frøplantasjer. Trær med lik alder i plantefelt egner seg bedre til å identifisering av gode genotyper. Flotte fenotyper kan i tillegg velges ut basert på avanserte statistiske metoder som tar i bruk treets posisjon og informasjon om trærne som vokser og konkurrerer med andre gode fenotyper. Ved å klarlegge disse kandidatenes genetiske fingeravtrykk, håper vi å finne hvem foreldrene er, og dermed redusere risikoen for at de beste vi velger er i slekt med hverandre. Denne metoden kaller vi "markør assistert foredling" (breeding without breeding; BWB). Man skaffer seg altså informasjon om slektskapet mellom de beste individene uten å gjøre krysninger. Populært kan man si at vi lar naturen selv gjøre krysningene for oss, så kommer vi i etterkant å etablere hvordan stamtavlene til disse individene er. Det fine med denne metoden, er at skogeierne selv lager "avkomforsøkene" ved hjelp av sine plantefelt, og disse blir en rik kilde til å etablere neste generasjon av foredlingspopulasjoner. Metoden kan særlig egne seg for høyereliggende strøk og langt nord i landet, der produksjonspotensialet er mindre der temperatur og næringsforhold begrenser veksten. Svenske forsøk tyder på at BWB gir genetiske fremskritt, men metoden er ikke så effektiv som bruk av familieforsøk med stiklingsformerte kloner av familiemedlemmene.

Slike genetiske fingeravtrykk (som vi også kjenner fra kriminalsaker) vil også kunne komme til nytte i den intensive foredlingen. Vi vil oppdage eventuelle feil eller illegitime fedre i kontrollerte krysninger. Derfor har vi startet med å lage genetiske fingeravtrykk i de foreldeklonene vi har podet opp i frøplantasjer og arkiver, og vårt mål er at alle de foreldrene som utgjør vår første generasjon av avlstrær (selektert fra 1960 og til nå) skal ha sitt unike fingeravtrykk. Deretter bygger vi opp et langsiktig system av stamtavler som skal opprettholdes og utvikles over flere hunder år, ja i prinsippet så lenge som Norge bestemmer seg for å holde på med foredling av gran.

Kan kunnskap om genene og deres varianter gjøre foredlingen mer effektiv?

Den langsiktige forskningen på Skog og landskap har som mål å gjøre foredlingen enda mer effektiv, og redusere omfanget av testingsarbeidet. Vi arbeider med å skaffe oss detaljert informasjon om granas gener, deres oppbygging, hvordan genene påvirker treets egenskaper, og hvordan de ulike allelene (genvarianter) gir opphav til nyttbar, økologisk og evolusjonsmessig viktig variasjon. Om vi lykkes vil vi kunne lettere forutsi hvordan et tre vil gi levedyktig og velfungerende avkom, og også gjennomføre mer presis modellering i foredlingsarbeidet. Til nå har vi funnet en rekke kandidatgener som styrer tidspunkt for vekststart om våren, vekstavslutning på høsten, gener som påvirker granas klimatilpasning og granas forsvar overfor blåvedsopp og rotråte. Disse kandidatene vil vi karakterisere videre og finne ut om de viser variasjon som kan forklare den fenotypiske forskjellen vi er ute etter å utnytte. Det er satt i gang et initiativ i mellom Europa, Canada og USA for å finne hele sekvensen av genomet til et bartre. Sannsynligvis blir dette en granart. Vi er med på initiativet, og grunnen til at dette er mulig, er at utstyr og teknikker for å finne baserekkefølgen av DNA er så mye mer effektiv og mindre kostbar i dag enn den var for bare noen få år tilbake. Hvis vi i samarbeid klarer å få finansiering til dette arbeidet, vil vi kunne skaffe oss ny informasjon om granas gener på en langt mer organisert og verdensomspennende måte enn vi klarer i dag. Uansett, det er ganske usikkert å spå noe om

utnyttelse av slik grunnforskning, men grana er et så viktig treslag for oss, at vi plikter å skaffe oss grunnleggende informasjon om dette treslagets biologi.

Faktaboks

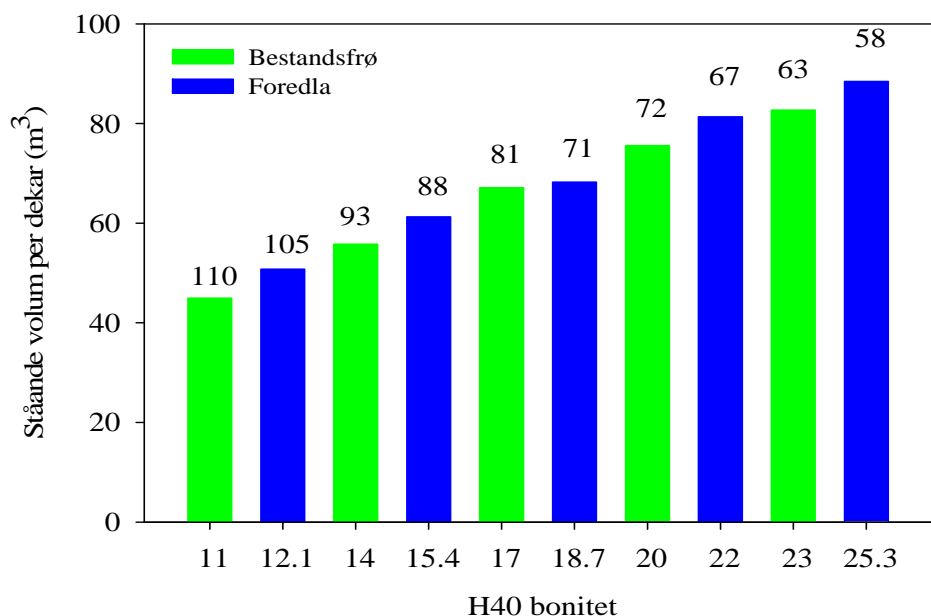
Et gen er den fysiske, funksjonelle enheten i DNA som overføres fra foreldre til avkom. Det er sammensatt av en reguleringsenhet (promoter) og en region som utgjør den genetiske kode. Den genetiske kode er definert gjennom rekkefølgen av basepar i DNA. Koden gir oppskriften til hvordan proteinet bygges, og bestemmer proteinets funksjon og biokjemiske egenskaper. Promoter og ulike reguleringsfaktorer påvirker avlesning av genets kode, slik at proteinet som genet koder for dannes ved behov, og at syntesen avbrytes når proteinets nærvær ikke lenger er påkrevd.

Bruk av foredla plantemateriale - God økonomi for skogeigaren og samfunnet.

Harald H Kvaalen, Institutt for Skog og landskap

Foredla plantemateriale gjev høgare tilvekst over heile omløpet og inneber såleis ein auke i skogen sin produksjonsevne. Samstundes kan virkeskvaliteten også forbetrast. Dette har store konsekvensar for økonomien i skogproduksjonen. I fyrste rekkje for skogeigaren, men også for samfunnet no når sjølvne karbonbindinga i skogen har fått ein verdi. Resultata frå dei eldre avkomforsøka som no er på veg inn i hogstklasse III, syner at det frøplantasjematerialet som no er tilgjengleg har om lag 10 prosent større middelhøgde enn planter frå bestandsfrø innan bruksområdet. Dette tilsvarar ca 10 prosent auke i H40 bonitet som gjev meir enn 15-20 prosent auke i volumproduksjonen, og eller redusert omløpstid. Samstundes ser frøplantasjemateriale ut til å vera minst like bra med omsyn til kvalitetsegenskapar som kvistdiameter og rak stamme.

Med utgangspunkt i at foredla plantematerialet gjev 10 prosent auke i H40 boniteten har me framskrive produksjon og noverdi for uforedla (bestandsfrø) og foredla plantemateriale. Det er føresett realrente på 2,5 prosent etter skatt. Det tilsvarar ei nominell rente på ca 6,9 prosent før skatt. Det er nytta to alternativ for tømmerpris; kriseåret 2009 (skurtømmer 370 kr, massevirke 250), og toppåret 2007 (skurtømmer 520, massevirke 285). Me har føresett at plante- og ryddekostnaden ved bruk av skogfond er 30 prosent av kostnaden utan skogfond.

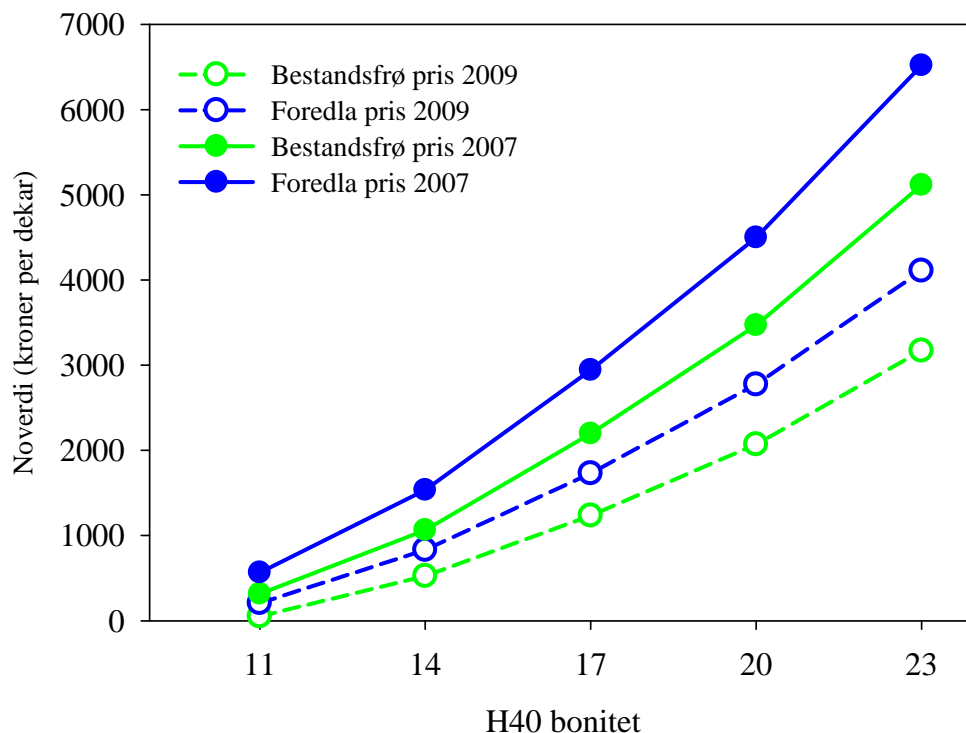


Figur 1. Brutto ståande volum med bark per dekar ved slutthogst med bestandsfrø og foredla plantemateriale som gjev 10 prosent auke i H40 bonitet. Svarte tal over søylene er økonomisk omløpstid når kalkulasjonsrenta er 2,5 prosent, prisen for skurtømmer og massevirke er 370 og 250 kroner per kubikkmeter. Planting og rydding er betalt med skogfond som gjev 70 prosent reduksjon i kostnaden.

Figur 1 syner ståande volum med bestandsfrø og foredla materiale ved den omløpstida som gjev høgast noverdi. Omløpstida er markert over søylene. Voluma er generelt langt større enn det ein finn i den gamle skogen i dag og kan synast urealistisk høge, men røynslene frå dei eldre veletablerte kulturbestanda er at dei faktisk produserer så store volum.

Det foredla plantematerialet gjev høgare volum og fem til ti år kortare omløpstid. Fordi det tek kortare tid å bygge opp at hogstmogen skog kan balansekvantumet aukast. Dermed kan skogeigaren alt no få auka hogstinntekter. Men skal ein realisere denne inntektsauken er det viktig å syte for rask etablering av det nye bestandet med planting og rydding.

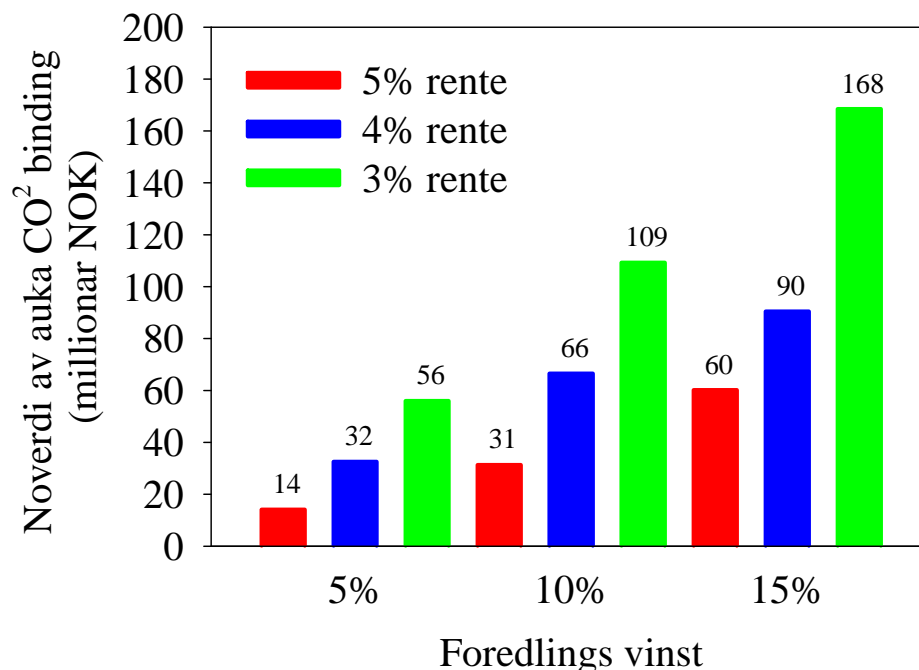
Auken i noverdien, det vil seie dei diskonterte hogstinntektene minus utgifter til planting og rydding, gjev endå større utslag enn auken i volum. Figur 2 syner absoluttverdiane i kroner per dekar. Me ser at differansen mellom bestandsfrø og foredla materiale er størst på den høgaste boniteten og med den høgaste tømmerprisen. Om ein ser på den relative auken er tilhøvet motsett; på G11 gjev ti prosent auke i H40 boniteten ei firedobling av noverdien, med låg tømmerpris mot "berre" ei dobling når tømmerprisen er høg. På høgaste boniteten, G23, er tilsvarande tal 30 og 27 prosent relativ auke ved låg og høg tømmerpris. At noverdien aukar meir enn volumet skuldast dels at omløpstida går ned, men og at gjennomsnittstreet vert høgare og grøvre, slik at bruttoprisen aukar og driftskostnadane går ned. I sum gjev det store utslag. At foredla materiale også gjev mindre avgang og dermed større utgangstettleik er eit tilhøve me ikkje har rekna inn, men det vil virke til høgare produksjon og betre kvalitet med alt anna likt.



Figur 2. Noverdi av slutthogsten med bruk av bestandsfrø og foredla plantemateriale når foredlinga gjev 10 prosent auke i H40 bonitet. Kalkulasjonsrenta er 2,5 prosent og tømmerprisar som i 2007 og 2009. Planting og rydding er betalt med skogfond.

Utan bruk av skogfond vert noverdien så mykje lågare at det vil ikkje vera lønsamt å plante på bonitet G11, sjølv med pris som i 2007. På dei høgare bonitetane vil det løne seg å plante sjølv utan skogfond, når ein legg til grunn at naturleg forynging gjev same volum som i dagens hogstklasse V etter like lang tid.

Den samfunnsmessige verdien av planteformidling er langt større enn det som kjem skogeigaren til del: Større volum med betre kvalitet gjev auka verdiskaping i den trebaserte industrien. Førebels har me ikkje presis nok informasjon om tilhøvet mellom kvaliteten i det foredla materialet og verdien av sluttproduktet for å kvantifisere denne vinsten presist. Foredla materiale gjev meir arealeffektiv produksjon som kompenserar for at produktiv skog vert nytta til andre føremål slik som bygging og vern. I dette ligg og ein samfunnsmessig vinst. Foredla materiale gjev og auka karbonbinding. Denne vinsten har me freista å kvantifisere, med å rekne ut noverdien av CO₂ binding frå eitt års planting etter hogst av ca 9,5 millionar kubikkmeter gran i grandominert skog på bonitet G11-G23. Kvotepreisen er sett til 160 kroner, kalkulasjonsrenta til 3,4 eller 5 prosent. Med foredlingsvinst som tilsvarar 10 prosent auke i H40 boniteten og 4 prosent kalkulasjonsrentefot er noverdien av den auka CO₂ bindinga 66 millionar kroner. Om samfunnet brukar 10 millionar i året på foredling inneber dette at samfunnet får at 6,6 kroner for kvar krone investert i skogplanteformidling. Den årlege meirbindinga CO₂ i høve til bruk av bestandsfrø vert forsiktig rekna til mellom 1,5 og 2 millionar tonn.



Figur 3. Noverdi av meirbinding av CO₂ ved bruk av foredla plantemateriale for planting av arealet etter eitt års hogst av ca 9,5 millionar kubikkmeter gran i grandominert skog. Tal for heile landet. Noverdien inkluderar ikkje tømmerverdi, substitusjonseffektar ved trebruk eller CO₂ bunde i daude tredeler.

Konklusjonen vert at skogeigaren kan auke verdien av skogen svært mykje ved å etablere høveleg tett skog med foredla materiale. Samstundes får samfunnet monaleg større karbonbinding til ein svært rimeleg pris.

Egen frøforsyning og foredling kan gi konkurransefortrinn i juletrebransjen!

Steinar Haugse, Norsk Pyntegrønt Forsøksring og Jan-Ole Skage, Institutt for skog og landskap

Produksjon av juletrær skiller seg fra tradisjonelle norske landbruksprodukter ved at den ikke er tilknyttet verken produksjonstilskudd eller importtoll. Produksjonsvolumet styres av markedsforholdene, men dette kan medføre store prissvingninger i takt med endringer i volumet. Imidlertid må kostnadene hos produsentene holdes på samme nivå som med de landene som direkte kan konkurrere med norskproduserte trær. Næringen er lite utsatt for politiske beslutninger, som jordbruksoppgjør og WTO-avtalen. Siden juletrær omsettes i et fritt marked er pris og kvalitet på produktene avgjørende for salget.

Det er få områder i Europa som klimatisk egner seg til juletreproduksjon av edelgran. Arter av edelgran som er de viktigste produktene produseres i utvalgte områder i Norge, Danmark, Normandie i Frankrike og på de britiske øyer. Alpelandene har også gode forhold, men høye transportkostnader til Norge vil trolig gjøre det lite aktuelt å importere fra disse landene. Det plantes årlig om lag 60 millioner juletrær av edelgran i Europa, hvorav hovedtyngden er av arten nordmannsedelgran. De siste årene har forskere i Europa og Nord-Amerika vurdert juletrepotensialet til et stort antall arter av edelgran i søken etter et alternativ til nordmannsedelgran. Parallelt har forskere ved Norsk institutt for skog og landskap i Norge gjennomført omfattende forsøk med blant annet arten fjelledelgran. Ved vurdering av utvalgte provenienser er det fra dansk hold signalisert at fjelledelgran har potensial til å bli den neste store juletrearten i Europa.



Frodig knoppsetning i fjelledelgran fra et proveniensforsøk på Hønefoss. Foto: Åge Østgård

Høsting av fjelledelgrankongler i Kaupanger frøplantasje. Foto: Åge Østgård

Fjelledelgran (*Abies lasiocarpa*) er en alpin art med opprinnelse i fjellkjeder på vestkysten av Nord Amerika. Fjelledelgran er hardfør, men svært utsatt for vårfrost og angrep av sibirsk edelgranlus. Nåleholdbarheten er meget god og fjelledelgran er derfor godt egnet til produksjon av juletrær. Andre fremtredende egenskaper ved fjelledelgran er at den er smaltvoksende og derfor vil gi lavere kostnader knyttet til både forming og transport. Blåtonet farge på baret og aromatisk duft kan sannsynligvis gjøre den til et attraktivt alternativ til nordmannsedelgran som er mørk grønn og nesten luktfri. Norge vil ha store egnede dyrkingsområder siden den er tilpasset en svært kort vekstsesong.

Det kan ligge store fremtidige verdier knyttet til egenproduksjon og omsetning av fjelledelgranfrø. Av erfaring vet vi at frøsettingen i artens naturlige voksested i Nord-Amerika er høyst usikker. Valg av gode frøkilder i Norge og etablering av en frøplantasje med podedvist fra utvalgte bestand og foreldretrær vil derfor være nødvendig for å sikre behovet for frø. Anlegg av frøplantasje i lavlandet vil sannsynligvis også gi oftere blomstring og konglesetting. På grunnlag av proveniensforsøk er det valgt ut tre til fem provenienser for videre foredling, som alle har svært ulike egenskaper og kvaliteter. Norge har opparbeidet seg et stort forsprang i forhold til konkurrentene når det gjelder kunnskap om fjelledelgran. Norge har gode muligheter for å ligge i tet og står meget sterkt rustet når det gjelder å sikre framtidig kontroll med foredling og omsetning av fjelledelgranfrø. Vi vil også ha store fordeler i og med at vi kjenner treslaget godt etter nesten 100 års erfaring med planting av fjelledelgran i Norge. De siste 25 årene også til dyrking av juletrær.

Beskrivelse av de viktigste utvalgte proveniensene:

Red Mountain

Red Mountain er blant proveniensene som scorer høyest på pryddverdi og regnes for å være svært konkurransedyktig målt opp mot den markedsledende nordmannsedelgranen. Den svakt reisende greinvinkelen gjør at Red Mt fremstår med en mer eller mindre optimal greinstruktur for produksjon av naturformede trær. Red Mt er også blant proveniensene med tilstrekkelig greinstyrke slik at tyngre pynt kan henge på ytterste skudd på greinen. Baret farge varierer fra grønt til blått. Knoppene er brunfargede, blanke og dekorative. Svært lange nåler og den store mengden av internodiegreiner gjør at Red Mt fremstår som et tettvokst tre med markerte greinkranser. Opprinnelig vokseområde er sør i staten Washington i fjellkjeden Kaskadene i høyde 1300 moh.

Grassie Mountain.

Grassie Mountain har i likhet med Red Mt en svært konkurransedyktig pryddverdi. Greinvinkelen er noe flatere og Grassie Mt. er målt til å være den nest bredeste blant alle provenienser som er målt i Norske forsøk. Den er allikevel markant smalere enn nordmannsedelgran og siste års erfaring med eksport av fjelledelgran tilsier at markedene i sentral Europa foretrekker en noe bredere type fjelledelgran. Baret på Grassie Mt får som regel en svært kraftig blåfarge. Styrken i greiene er svært god, og den visuelle kvaliteten av knopper og stamme er muligens den høyeste blant alle provenienser av fjelledelgran. Grassie Mt er noe utsatt for klimaskader, ved at knoppenes vinterkvile er noe svak. Erfaringsmessig bør den dyrkes i kystnære strøk med stabile temperaturer.

Spring Mt.

Spring Mt har sine fremste kvaliteter i hardighet mot klimaskader. Den er den nordligste proveniensen som er med i de norske proveniensforsøkene, uten at den har for svake greiner, noe som er problematisk med provenienser fra f. eks Alaska. Fargen på baret er kraftig grønn. Treet har liten grad av struktur siden greinvinkelen er kraftig opprett. Dette gjør også at Spring Mt er blant de smaleste fjelledelgranene. Den opprette voksteren gjør også at eventuelle skader skjules i større grad, slik at trær med klimaskader kan bli salgbare. Nålene er noe korte og kranstilte. Spring Mt er proveniensen for dyrkingsområder med harde klimaer. Prydverdiene av Spring Mt er ikke konkurransedyktig med nordmannsedelgran.

Foredlingspopulasjoner og beredskap for raske klimaforandringer

Øystein Johnsen, Norsk institutt for skog og landskap

Den langsiktige foredlingen må basere seg på avlstrær som klarer seg over et vidt klimaområde. Avkom fra avlstrærne må kunne overleve med sikre marginer, produsere bedre, opprettholde og helst forbedre skogens produksjon av kvalitetstømmer, og kunne motstå angrep fra sopp og insekter. Dagens kunnskap om gener, deres genvarianter og regulering må bli bedre før vi til fulle kan utnytte molekylær informasjon i foredlingen. Vi er derfor nødt til å satse på et omfattende testingsprogram for de produktive områdene i lavlandet og midlere høydelag. Det finnes ingen snarveier til foredlingsframskritt gitt det nåværende molekylære kunnskapsnivået, men genetisk og molekylær forskning vil, hvis ressurser allokeres til dette, kunne bidra med redusert behov for testing i framtida. Hvis klimaet blir enda varmer enn modellert, vil det intensive arbeidet med de produktive områder i G0 – G2 og G4 og G5 (Tabell 1) kunne anvendes også i G3, G6 og G7.

Virkemiddel 1: Klimaet der frøplantasjene etableres

Vår forskning på klimatilpasning har vist at grana tilpasser seg raskt til temperaturendringer, ved at kimen i frøet programmeres av temperatur og daglengde det året som frøet dannes. Den sesongavhengige vekstrytmen (avherding og start av vekst om våren, avslutning av vekst og utvikling av frostherdighet om høsten) påvirkes slik at vi kan styre klimatilpasningen i gran i stor grad gjennom bevisst plassering av frøplantasjer i nye klimaforhold, særlig i de viktige 10 første årene av plantenes liv. Ønsker vi en sørligere vekstrytme, sein vekststart og sein vekstavslutning, så legges frøplantasjene i et varmt lokalklima, gjerne lenger sør enn der hvor foreldrene kommer fra, og lenger sør enn det geografiske området hvor frøplantene skal brukes. På denne måten bidrar man til å forberede skogplantene til en varmere temperatur i framtida. Kaupanger og Lyngdal frøplantasjer er gode eksempler på hva slik forflytting vil kunne gi av fordeler. Hvis man derimot ønsker en tilpasning til et kaldere klima enn vi forventer at det blir, så legger man frøplantasjene litt lenger nord enn de områder hvor frøplantasjen skal produsere frø til. Dette vil føre til lavere blomstringsintensitet og mindre frøproduksjon i begynnelse, men hvis klimaet blir varmere, vil vi kunne få bedre betingelser for blomsterdannelse og frøproduksjon også lenger nord.

Virkemiddel 2: Nordisk samarbeid

For G0 – G2 (Tabell 1), vil et nordisk/baltisk samarbeid i foredlingen være svært viktig. Hvis vi kan basere våre framtidige foredlingspopulasjoner på alle utvalg som har vært utført i disse landene, vil muligheter til å kombinere vedkvalitet, vekst, resistens overfor sopper og insekter bli så mye bedre enn i dag, fordi man får så mange flere avlstrær å velge mellom. Klimatilpasning og variasjon i denne vil likevel kunne ivaretas gjennom etablering av frøplantasjer fra de samme foredlingspopulasjonene, plassert i ulike klimaområder og i de ulike land. Samtidig ville det være mulig å utnytte den genetiske variasjonen i samspill med lokaliseringer av frøplantasjene. Man ville simpelthen ha større handlefrihet, og fleksibilitet i framtida.

Virkemiddel 3: Samarbeid med Danmark og Tyskland

For G4, som skal brukes på Vestlandet, bør vi utvikle et samarbeid med Tyskland og Danmark. Harz-grana på Vestlandet har stor sett gitt gode erfaringer, snart i et helt omløp, og klonarkivet på Årøy består av utvalgte trær fra gamle plantinger av norske og tyske provenienser. Både vekst, stammeretthet og densitet var egenskaper som det ble lagt vekt på da klonarkivet ble etablert. Utvalget ble gjort innen bestand med trær av samme alder og dette bidrar til et noe sikrere fenotypisk utvalg av avlstrærne. Årøy har hittil gitt lite frø, og de målingene vi har gjort av avkom fra dette klonarkivet så langt, tyder på at vekstrytmen til materialet likner mye på den norske C1-proveniensen. Vi har derfor lite avkomforsøk å basere vår foredling for Vestlandet på, og det kan være aktuelt å samarbeide med Danmark, som har to granfrøplantasjer basert på foredling av kontinental, sørlig opprinnelse. Vi burde også alliere oss med foredling for tyske områder som egner seg. Dette forutsetter at vi skaffer oss testdata for frøplantasjer fra Danmark og Tyskland så fort som råd er, og etablerer Årøy-materialet til frøplantasje/arkiv syd for Norge hvis mulig.

Virkemiddel 4: Testing over store klimagrader og bruk av underpopulasjoner

Neste generasjon med foredlingspopulasjoner og frøplantasjer (andre generasjon) etableres ved å krysse ubeslektede mødre og fedre basert på avlsverdier for de ulike karakterene vi prioriterer i første generasjon, og størrelse og retning på de genetiske korrelasjoner som vi estimerer mellom karakterene. Vi anbefaler å klonformere individene (stiklingsformering eller somatiske embryogenese) innen hver familie for områdene G0 – G2, G4 og G5. To individer fra hver families selekteres etter 10 - 15 års testing, men andre eller samme individer kan velges etter 20 – 30 års testing hvis det viser seg lønnsomt. I de andre områdene satser vi på lavere intensitet, med utvalg i etablerte plantefelt med foredla materialer, med identifisering av kandidatene ved hjelp romlig analyser og konkurranseindekser, og ved konstruksjon av stamtavler med hjelp av DNA-markører. Feltforsøkene legges på minst tre til fire lokaliteter innenfor tiltenkt klimaområde, og familiene og deres medlemmer (kloner) testes også på steder som er kaldere og varmere enn de tiltenkte områdene. Dette øker muligheter for å finne de mest stabile individene som klarer seg bra over et større temperatur- og daglengdeområde. Innenfor hver av foredlingspopulasjonene (100 – 200 individer) kan det bli aktuelt å lage underpopulasjoner på 25 individer i hver for å vektlegge 1) densitet og ytre kvalitet i første populasjon, 2) resistens overfor sopper og insekter i neste, 3) vekst og volum i den tredje, og 4) de som kombinerer gjennomsnittlig for alle karakterer i den siste underpopulasjonen. Dette er bare ment som et foreløpig forslag, for slike vurderinger kan best gjøres når data fra første generasjon av avlspopulasjoner foreligger. Vi kan håndtere og kontrollere innavl i slike underpopulasjoner i tredje generasjon (om 70 - 90 år) ved å maksimere utavl i frøplantasjene basert på anlegg med ubeslektede avlstrær (stamtavler og DNA-fingeravtrykk). Vi kan velge bort avlstrær som viser stor grad av innavlsdepresjon, og kanskje kunne oppnå noen fordeler når utavlen maksimeres i frøplantasjene. Dette forutsetter at dagens modeller for kvantitative genetikk gir brukbare prediksjoner.

Virkemiddel 5: Lavere intensitet i G3, G6 og G7 (prioriteringer)

Foredlingsframskritt er avhengig av ressurstilgang. Med et årlig budsjett som tilsvarer en nåverdi på 10 mill NOK, vil det være lønnsomt å satse intenst på foredling for de mest produktive skogarealene i Norge. For G3, G6 og G7 vil vi prioritere utvalg i nåværende

avkomforsøk uten klonformering, i nye avkomforsøk uten klonformering, og i plantinger fra frø produsert i utestede frøplantasjer/klonarkiv og proveniensforsøk. DNA-fingeravtrykk må brukes aktivt for å kontrollere slektskap, og til konstruksjoner av stamtavler for bruk i den langsiktige foredlinga. Vi kan heller ikke utelukke at den intensive foredlinga for de mer produktive områdene kan komme til nytte også for G3, G6 og G7, særlige hvis temperaturen vil øke raskere og til et varmere nivå enn vi forventer.

Virkemiddel 6: Enheter med klimakontroll for produksjon av avlsmaterialer

Fordi behovet for frø til avl er langt, langt mindre enn behovet for foredla frø til skogbruket, er det mulig å investere i gode fasiliteter til å produsere framtidens foredlingspopulasjoner. Vi vet i dag hvordan vi skal indusere granpodninger (som står i pottes) til å blomstre. Dette krever hormon- og varmebehandling under skuddstrekning og vekstavslutning, styring av vanntilførsel, og følgelig veksthus som er utstyrt for å klare en viss grad av temperaturkontroll. Hvis vi skal satse på klonformering ved hjelp av stiklinger eller ved hjelp av somatiske embryogenese, trenger vi ett eller flere sentre, som er utstyrt til å produsere frø til avlspopulasjoner, og som har utstyr til å formere kloner til testing og utvalg. Med slike veksthus blir det også mulig å produsere frøet fra de kontrollerte kryssningene i en temperatur som tilsvarer en økning på 2 – 3 °C over dagens nivå. På denne måten produseres testmaterialer med en ny vekstrytme, som er tiltenkt framtidens klima. Det kan også tenkes at frøet produseres under både dagens og framtidens klima (innenfor og utenfor veksthus), og at familiene og deres tilhørende kloner fra begge kryssnings- og frøproduksjonsmiljøene testes sammen. Fordi utvalget bare skal gjøres innen, og ikke mellom familier, trenger vi ikke teste alle familiene og klonene på samme tid og i samme felt. Dermed kan man kontinuerlig produsere avlsmaterialer for de ulike sonene i Norge på en eller to steder i landet. Dette muliggjør at arbeidet kan gjennomføres på en planlagt og forutsigbar måte. Man blir ikke avhengig av naturlige blomstringsår, med tilhørende arbeidskrevende, store kampanjer de gangene naturlige værforhold under strekningsveksten induserer grana til å blomstre.

Kor stort vert det framtidige behovet for granfrø?

Harald H Kvaalen, Norsk institutt for skog og landskap

Innleiing

Oppbygging av planteforedling og frøforsyning frå frøplantasjar er ei langsiktig verksemd som krev oversyn over tilgjenglege skogressursar, korleis ein ynskjer å nytte dei og korleis ein ynskjer å forynge skogen. Kor intenst ressursane kjem til å verta utnytta i åra framover vil i stor grad verta styrt av marknadstilhøva for tømmer som er ei vare på verdsmarknaden, men og av politiske- og økonomiske tilhøve innanlands. Dei politiske bestemte rammevilkåra har endå meir å seie for forynginga av skogen fordi planting av skog er eit så langsiktig tiltak at mange skogeigarar let vera om der ikkje finst påbod og/eller stønadsordningar som dekkjer delar av kostnadane. Om der er stadige skifte i rammevilkåra vil ein risikere at det som vert oppbygd i ein periode vert bygd ned i neste periode - gjentekne gonger.

Der er nyleg kome to politiske dokument, Stortingsmelding 39 og Kystskogmeldinga som legg opp til ei relativt sterk nysatsing på skogplanting for å binde karbondioksid og bygge opp virkesressursar. Desse to meldingane samanfatar mykje av den kunnskapen som finst om virknaden av skogbruk og trebruk på karbonbinding under våre tilhøve.

Fylkestinga langs kysten frå Vest Agder i sør til Troms i Nord som har slutta seg til Kystskogmeldinga. Stortingsmelding 39 er enno ikkje handsama. Kva som vert praktisk politikk for åra framover er difor enno uvist. Fordi desse to meldingane har så mykje å seie for innsatsen i forynginga av skogen i skogstrøka på Austlandet/Trøndelag, og for vidare oppbygging av klimaskogar langs kysten, har me her lagt til grunn tre ulike alternativ som synleggjer kor store skilnader ein får i frøbehovet som fylgje av politiske vedtak. 1) Same avvirking som no i skogstrøka på Austlandet og Trøndelag, men avvirkinga på Vestlandet og i skogreisingsområda nordover aukar i takt med at skogen der vert hogstmogen, samstundes som skogeigarane berre plantar nok til å tilfredstille forskrifta sitt minimumskrav. 2) Same avvirkningsnivå som i alternativ 1, men skogeigarane plantar i samsvar med tidlegare tilrådingar frå Skog og landskap. 3) Målsettingane i Stortingsmelding 39 og Kystskogmeldinga vert fylgde opp slik at planteaktiviteten aukar nokså kraftig. Her er framgangsmåten, med metodar, arealgrunnlag, føresetnadar, forslaga i Kystskogmeldinga med meir gått gjennom fyrst, medan resultatata for plantetal og frøbehov er synt til slutt.

Framgangsmåte

Val av føresetnadar om tretal

Kor tett ein plantar og sterkt styrande for frøforbruket. Dei seiste åra har det vore ein tendens til glissnare planting. Omsyn til virkeskvaliteten, i fyrste rekkje kvistdiameter, avsmaling og densitet tilseier at utgangstettleiken helst ikkje bør falle under 150 tre per dekar. Legg ein til grunn at karbonbinding i seg sjølv har verdi, slik det er gjort i Stortingsmelding 39, vil det frå ein samfunnsøkonomisk synsstad vera lønsamt å plante mykje tettare enn dette på middels- og høg bonitet, sjølv ved eit så høgt avkastingskrav som 4 prosent. Her er det likevel lagt til grunn berre dei to nemnde alternativa. Talet på planter per dekar for ulike bonitetar er synt i Tabell 1.

Tabell 1. Tal for planter per dekar etter alternativ 1, planting til å fylle forskriftas minimum og etter tidlegare tilråding frå Skog og landskap H40x11. Bonitet G11 og dårlegare er føresett naturleg foryngja i begge alternativ.

Bonitet H40	Forskrift minimum	Tilrådd	Planting i alternativ 2
6	50	66	0
8	50	88	0
11	50	121	0
14	100	154	154
17	100	187	187
20	150	220	220
23	150	253	253
26	150	286	286

Arealgrunnlag

Arealet av grandominert skog er lagt til grunn for alternativ 1 og 2 i denne analysen, totalt 27,9 millionar dekar. Areala for klimaskogane i alternativ 3 kjem i tillegg. Frå Landsskogtakseringa sine data er det teke ut sluttavvirka volum og areal, samt totalt skogareal, volum og tilvekst i hogstklasse I-V, areal og volum i hogstklasse V. Desse tala er gruppert på foredlingsssone og bonitet. Dei kan relativt enkelt nyttast til å rekne ut plantebehov for alternativ 1 og 2, men for alternativ 3 må dei supplerast med informasjon frå St. melding 39 og Kystskogmeldinga. Alternativ 3 er nyttar same plantetal per dekar som alternativ 2, men det er lagt til grunn at planane i Kystskogmeldinga vert gjennomførde med nyplanting av 100 000 dekar klimaskog kvart år. Fordi det er høge boniter, er det lagt til grunn at det vil bli planta ca 200 planter per dekar i gjennomsnitt. Fordeling av areala mellom ulike sonar er det sagt meir om under bolken om Kystskogmeldinga.

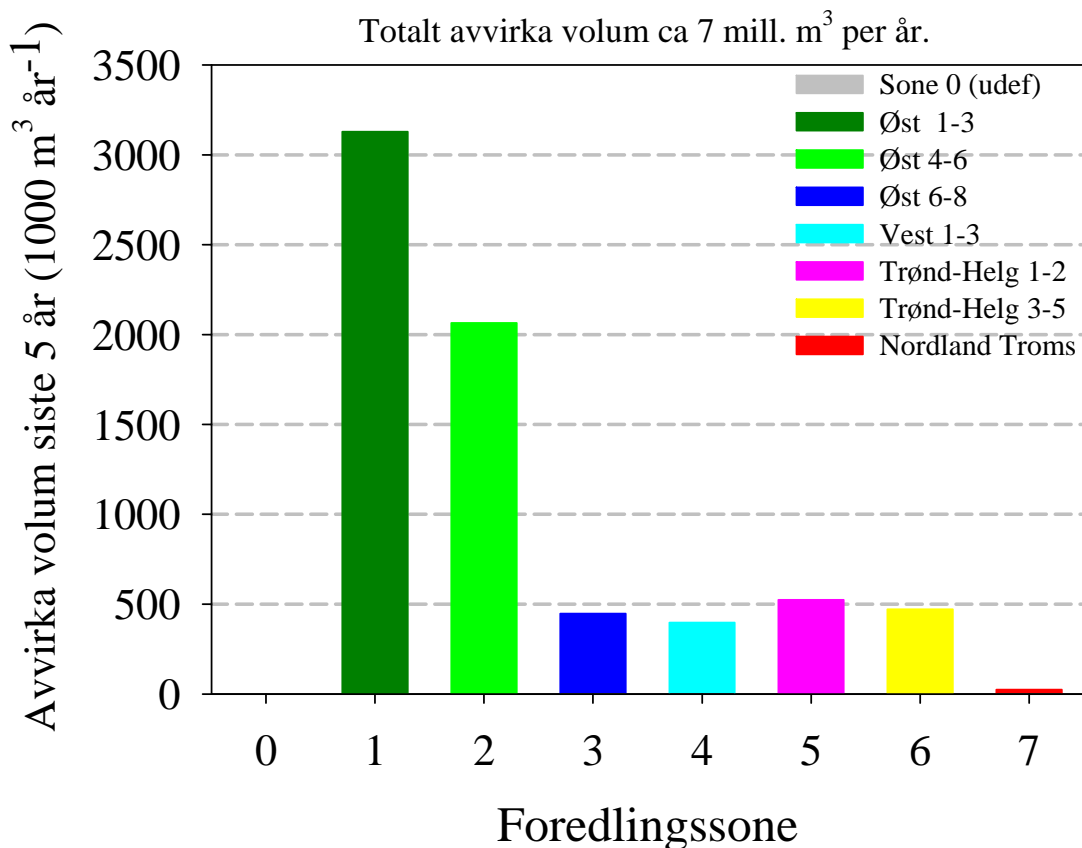
Kor mange frø trengst det per utsett plante?

Det framtidige frøbehovet vert ikkje berre avgjort av kor mange planter som vert sette ut, men også av kor mange frø det går med for å produsere ei plante. Som i all annan produksjon er der ein del svinn ved produksjonen av skogplanter. Dette skuldast dels at spireprosenten kan vera så låg i frø frå høgareliggjande skog at det er naudsynt å så to frø i kvar potte. Ettersom frøplantasje frøet er fasa inn i produksjonen er dette problemet mindre, men noko svinn vil det vera sjølv med eittfrø såing. Strenge sorteringsreglar er ein annan grunn. Dei seiste åra har manglande plantesal og påfylgjande kasting av planter truleg utgjort ei vesentleg årsak til svinn. Den historiske statistikken for utsette planter og sal av frø syner at det har gått med ca 14 mg frø for kvar plante. Med ei frøvekt på 5-6 milligram inneber dette at det i gjennomsnitt har vore vel 50 prosent svinn på heile vegen frå Skogfrøverket til planta er sett ut i skogen. Mykje plantasjeareal, med tilhøyrande arealkostnader, kan sparast ved å redusere svinnet. Med den frøkvaliteten som plantasje frøet kan gjeva bør det for dei fleste plantasje frøpartia vera mogeleg å halvere svinnet. For å rekne om frå plantetal til frøbehov har me lagt til grunn at der vert 30 prosent svinn, inkludert utsortering av dei minste plantene.

Fordeling av avvirka volum og areal på dei ulike regionane

Den seiste fem års perioden er det ifylgje data frå Landsskogtakseringa avvirka 7,06 millionar kubikkmeter gran målt under bark. Til samanlikning syner Skogdata sine tal at det er innmålt 6,00 millionar kubikkmeter i middel for åra 2004 til og med 2008. Bruttokvantumet er såleis nesten 18 prosent høgare enn innmålt kvantum.

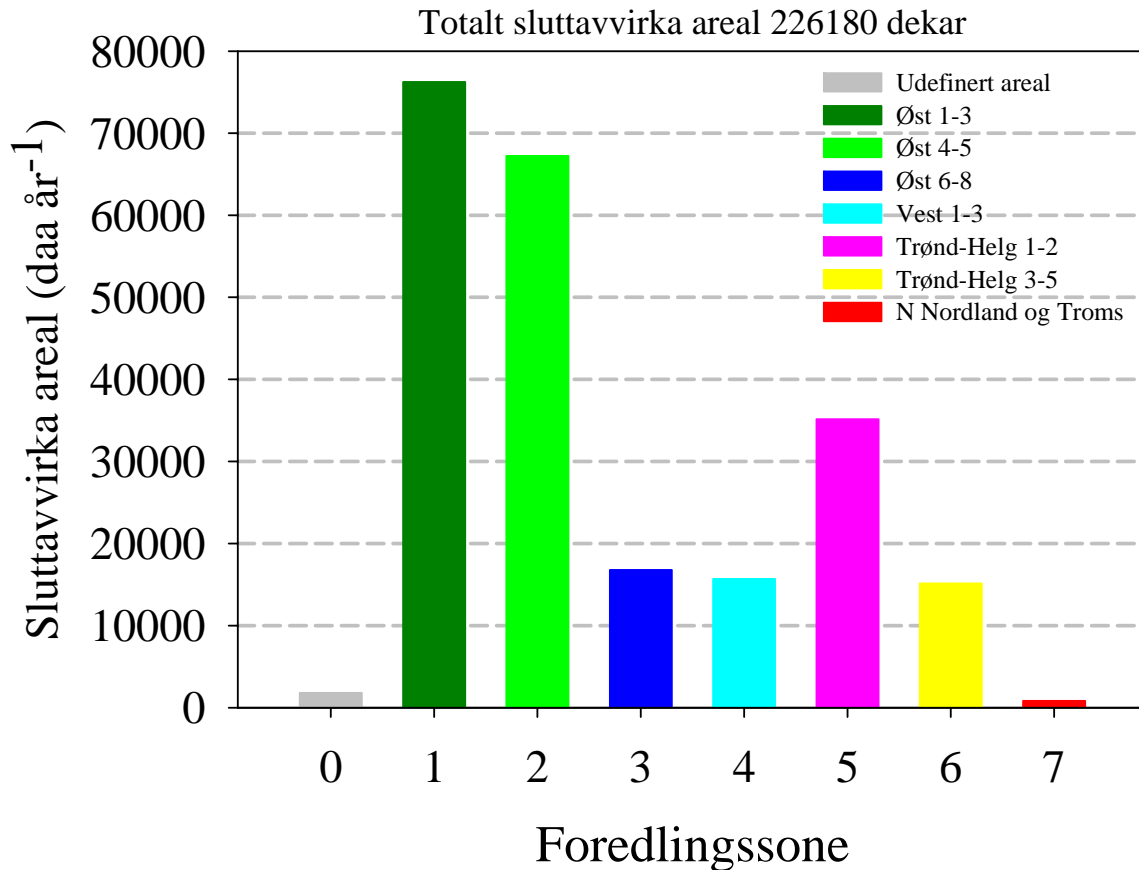
Årsaka til at avviket er topp og avfall i skogen, vedforbruk med meir. Avvirka brutto volum for dei ulike foredlingssonane er synt i Figur 1. I område med lite skogareal som sone 4 og 7 er tala usikre.



Figur 1. Årleg sluttavvirka volum (i tusen kubikkmeter) i hogstklasse V fordelt på dei ulike foredlingssonane. Talet er gjennomsnitt for Landsskogtaskseringa sine takstar frå og med 2004 til og med 2008. Merk at det for sone 4 er det nytta innmålt volum i 2008. Sone 0 er areal som fell utanfor soneinndelinga.

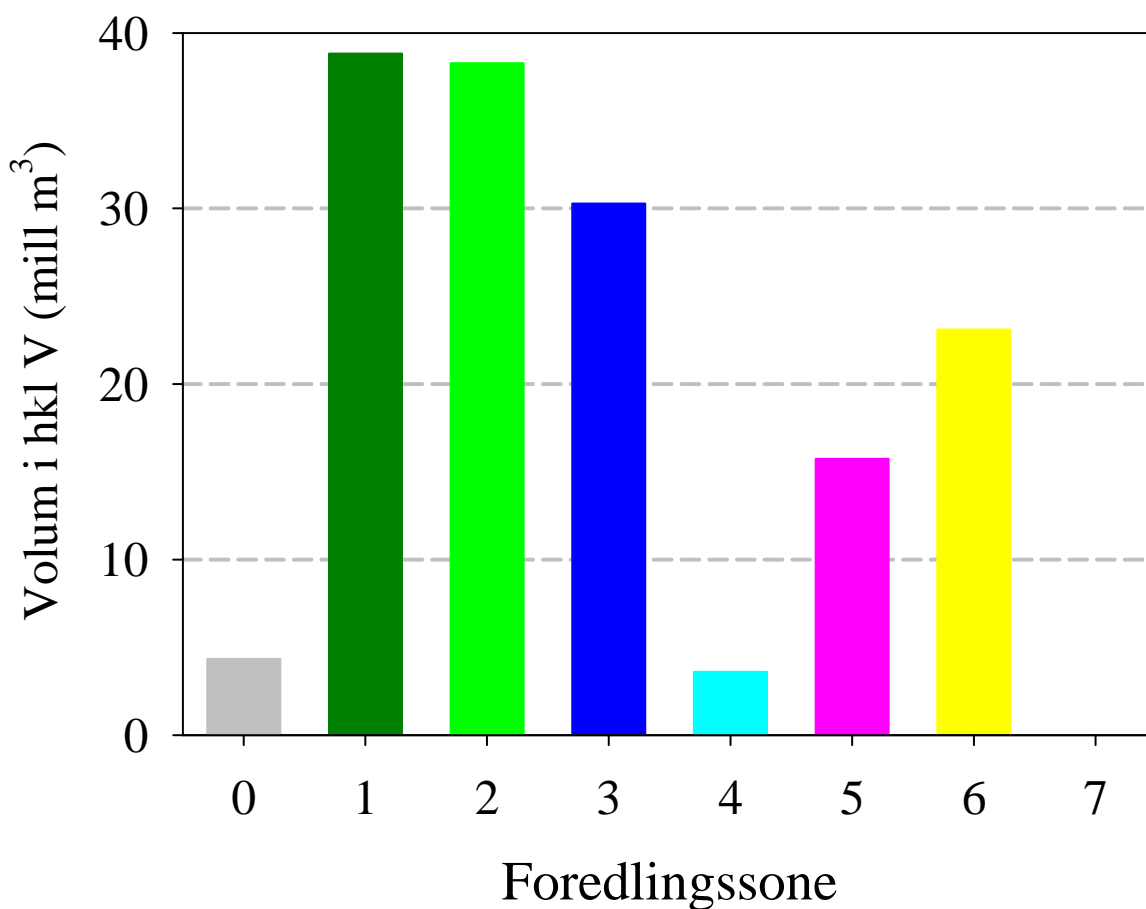
Det er sone 1 og sone 2, det vil seie dei lågare strøka på Austlandet som står for det meste av avvirkinga. Den noverande avvirkinga i sone 4, 5, 6 og 7 gjev ikkje eit rett bilte av kor stor avvirkinga vil verta i nær framtid. For det er på Vestlandet at hogsten aukar mest, frå 263 000 kubikkmeter i 2006 til 397 000 m³ i 2008. I Figur 1 er det tala frå Skogdata for 2008 som er synte for Vestlandet, det vil seie netto innmålt volum. I sone 7 vart det berre avvirka ca 25 000 kubikkmeter gran i året i denne perioden. Det totale granarealet i sonen er no ca 360 000 dekar og tilveksten er over 200 000 kubikkmeter i året. Ein må difor legge til grunn den same raske veksten i avvirkinga av planta granskog i sone 7 som det me no ser i sone 4, men den auken vil koma seinare fordi skogen er yngre. Tilsvarande utvikling vil ein få i skogreisingskogane i sone 5 og 6.

I gjennomsnitt vart det sluttavvirka 226 000 dekar kvart år på landsbasis i denne femårsperioden. Dette samsvarar bra med arealoppgåvene frå resultatkontrollen i desse åra. For eksempel syner resultatkontrollen for felt som vart avvirka i 2005 at 210 000 dekar vart planta. Det skulle tyde på at mesteparten av snauflatene faktisk vert planta. Fordelinga av avvirka areal i dei ulike sonane er synt i Figur 2.



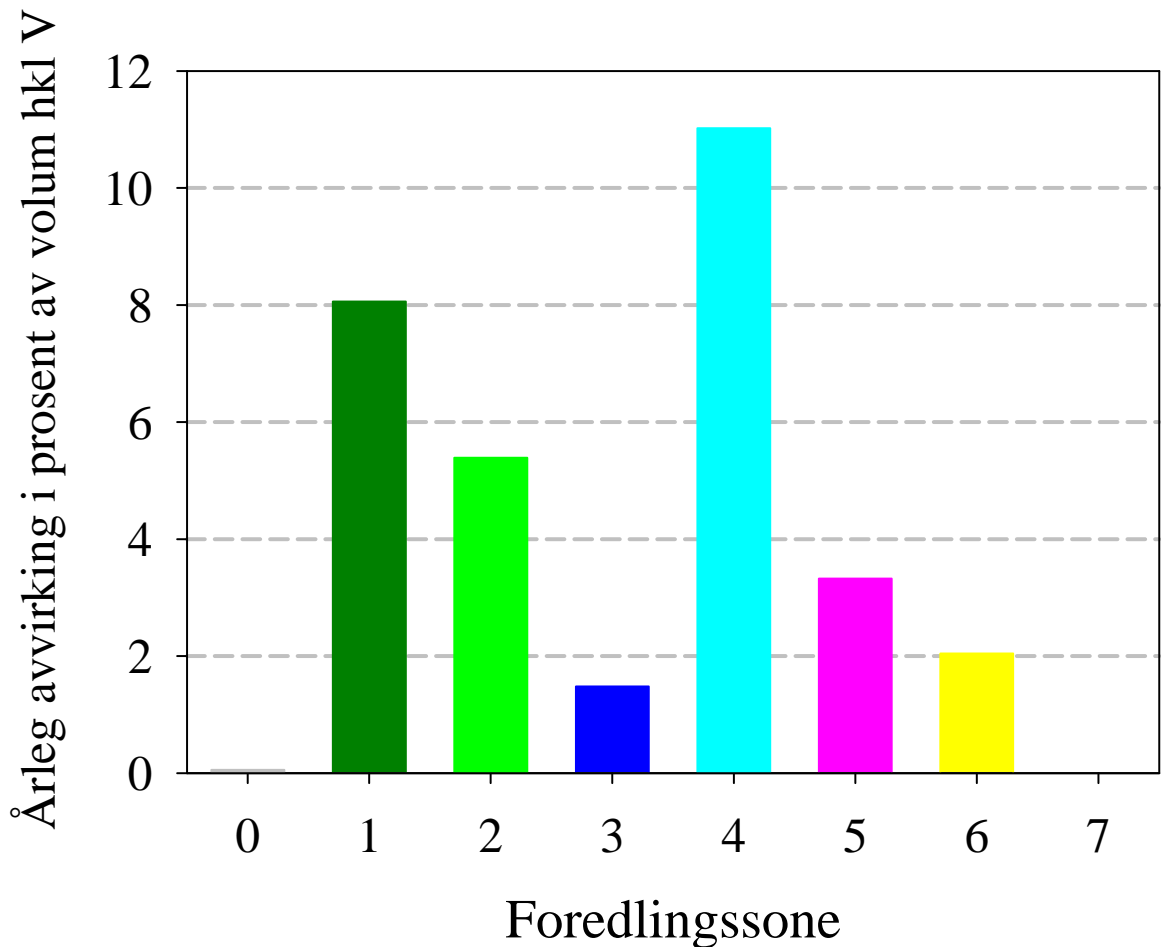
Figur 2. Årleg sluttavvirka areal i hogstklasse V i dei ulike foredlingsssonane. Data frå Landsskogtakseringa same periode som i Figur 1.

I høve til det framtidige frøbehovet er to særskilte spørsmål om er den noverande fordelinga av avvirkinga kan oppretthaldast, og kor avvirkinga eventuelt kan aukast i dei næraste tiårsperiodane. Dei seiste 10 åra er det gjennomført fleire analyser av dette som har konkludert med at avvirkinga i dei lågareliggjande skogstrøka på Austlandet ikkje kan aukast mykje på kort sikt og at attverande tilgjenglege ressursar av gran er i høgareliggjande skog på Austlandet (sone 3), Vestlandet og Trøndelag Nordland. No har dei nemnde analysane ei anna soneinndeling enn det som er naudsynt her. Difor er det av interesse å sjå på kor stor del av ståande volum som er i hogstklasse V i dei ulike foredlingsssonane (Figur 3).



Figur 3. Stående volum i hogstklasse V fordelt på dei ulike foredlingssonane. Data frå Landsskogatseringa. Same soneninndeling som i Figur 1 og 2.

Det er i sone 3 og sone 6 at der framleis er ein stor del gamal hogstmogen skog. I sone 1 og 2 på Austlandet har den gamle skogen blitt avvirka, medan mykje av skogen i skogreisingsområda i sonane 4, 5, 6 og 7, enno ikkje er komen opp i hogstklasse V. Eit anna spørsmål er kor stor del av ståande volumet i hkl V som vert avvirka kvart år, med andre ord; kor fort forsvinn den hogstmogne skogen? Figur 4 syner korleis dette varierar mellom sonane.



Figur 4. Avvirka volum i prosent av volum i hogstklasse V for dei ulike foredlingssonane. Same soneinndeling som i Figur 1 og 2. Data grunnlag som i Figur 1 og 3.

I sone 1 på Austlandet utgjør avvirkinga 8 prosent av volumet i hkl V kvart år. Dette må innebera avgangsraten i hkl V er høgare enn rekrutteringa frå hkl IV til V. Det same gjeld til dels for sone 2, der den årlege avvirkinga tilsvarar 5,4 prosent av volumet i hkl V. Konsekvensen av dette kan verta at det i tida framover vert mindre volum tilgjengelig volum å hente i sone 1 og 2. På Vestlandet ser det ut til at skogen i stor grad vert avvirka før den kjem opp i hkl V. Avvirkinga i 2008 på 398 000 kubikkmeter skulle tilsvare 11 prosent av ståande volum i hkl V. For tideleg hogst fører til at volumet per dekar er mindre enn om ein ventar til skogen er hogstmogen. Det vil seie at større areal må avvirkast for å få same volum. Foryngelsesarealet og frøbehovet vert dermed større enn om skogeigarane hadde venta nokre år med å hogge. Det er truleg ikkje urimeleg å rekne med at avvirkinga i sone 4 vil verta 3-4 dobla i åra framover. Her er det lagt til grunn at avvirka areal vil verta 3 dobla.

Samstundes ser ein at avvirkinga i sone 3 og 6 er svært låg slik at volumet byggjer seg opp i desse sonane. Om tilgangen på virke skal aukast må dette difor koma frå sone 3 og 6 og skogreisingsstroka i sone 4, 5 og 7. Å lage ei sikker prognose for ei slik utvikling er bortimot uråd fordi det ikkje er berre biologiske tilhøve som spelar inn, men også eigedomstilhøva og ulike eigargrupper sin respons på pris og politiske verkemiddel. Den tryggaste løysinga er truleg å rekne med at der vil koma ei auke i hogsten i desse områda og planlegge

frøplantasjearealet deretter slik at ein er sikker på å nok frø til å møte auka behov for forynging i sone 3, 4, 6 og 7.

Når det gjeld sone 3 og 6, er der eit anna tilhøve som krev spesiell merksemd. Det at boniteten i den gamle skogen truleg er mykje lågare enn i planta skog på same stad. Til dømes fann me i eit avkomforsøk i Ringebu at den gamle skogen ved sida av forsøket hadde bonitet G11-G14, medan plantasjemateriale frå Opsahl hadde bonitet G17-18. Dette utgjer ein svært stor skilnad i produktivitet, og ein endå større skilnad i skogens økonomiske verdi. Der er fleire moglege årsaker til lågare bonitet i den gamle skogen. 1) Auka temperatur vår og haust gjev stor auke i veksten i kjølige strøk. 2) Mesteparten av skogen i hogstklasse V kom opp etter plukk- og dimensjonshogstar og stod difor undertrykt. Data frå den fyrste langskogtakseringa syner dette. Dette vil føre til eit vist produksjonstap. 3) Ved dimensjonshogstar vert voksterlege tre fjerna. Dette er også ein genetisk seleksjon. I raudgran (*Picea rubens*) er der påvisa overraskande store negativ effekt av slik seleksjon. 4). Der er større grad av innavl i mykje av den norske granskogen enn me har rekna med. Det er vel kjent at innavlsdepresjon fører til redusert vekst. Kva for ei av desse årsakene som har mest å seie veit me ikkje enno, men det skal etter kvart la seg gjere å talfesta verknaden av dei.

Seksjon Skogproduksjon ved Skog og landskap vil i samarbeide med Mjøsen Skog kartlegge boniteten i planta skog og eldre naturleg oppkomen skog i løpet av dei næraste åra. Skogfrøverket har og ei mengde felt i alle landsdelar der det er moglege å undersøke desse tilhøva. På bonitet G8-G11 vil det no ikkje bli planta i det heile, medan det er stort sett allmenn semje om at ein bør plante på bonitet G17.

Kystskogmeldinga – oppbygging av klimaskogar

Kystskogmeldinga har som mål at verdiskapinga i skogbaserte næringer kystfylka skal doblast innan 2020. Det er og klart uttalt at skogane langs kysten skal drivast berekraftig det vil seie at skogen skal foryngast etter hogst. Dette må innebera at dei granareala som vert avvirka i skogreisingsstroka skal plantast, noko som ikkje alltid vert gjort no. Om plikta til å forynge skogen vert overhalden vil det føre til ei relativt stor auke i plantinga i skogreisingsområda samanlikna med nivået dei seiste åra. Saman med den raske auken i avvirkinga i desse områda tilseier dette at frøbehovet i desse områda kjem til å auke snøgt i dei næraste åra. Det er skogreist 1,5 millionar dekar på Vestlandet, 75 000 i Trøndelag og ca 1 million dekar i Nord Noreg. Om den årlege avvirkinga i sone 4 etter kvart kjem opp i ca 1,5 millionar kubikkmeter vil det årlege foryngingsarealet verta om lag 3 dobla. Fordi det er snakk om høge bonitetar vil plantebehovet då koma opp i vel 9 millionar planter. Noko seinare vil auka avvirking i skogreisingsstroka i sone 5, 6 og 7 også slå inn slik at plantebehovet vil auke der og. I sone 7 er det totale granskogarealet 359550 dekar. Denne auken i avvirka areal og dermed areal til forynging gjeng fram av Tabell 2 der noverande og framtidig avvirningsareal er sett opp, saman med frøbehovet. Det er grunn til å minne om at alt dette er svært avhengig av korleis ein vel å hushaldere med desse store og raskt veksande skogressursane.

I Kystskogmelding er det forslege å etablere klimaskogar på totalt 5 millionar dekar over ein periode på 50 år. Det vil seie at 100 000 dekar må plantast til kvart år. Fordi boniteten på alle desse areala er så høg > G17, og fordi karbonbindingsomsyn tilseier tett planting, vil dette medfører eit plantebehov på omlag 20 millionar planter per år i tillegg til det som fylgjer av

forventa auke i avvirkinga på tidlegare skogreiste areal. Fordelinga av arealet av klimaskogar mellom sonene 4-7 er ikkje mogeleg å sei noko presist om på dette tidspunktet. Men for å illustrere verknaden på frøbehovet har me lagt til grunn at 50 prosent av årleg tilplanting kjem i sone 4, 20 prosent i sone 5, 10 prosent i sone 6 og 20 prosent i sone av 7. Ei snarleg opptrapping av plantinga i samsvar med meldinga krev at det snarast vert sett i verk eigne tiltak for å møte dette frøbehovet slik at ein kan bruke best mogeleg tilgjengelig plantemateriale alt frå starten.

Kva vert plante- og frøbehovet?

Om dagens avvirkingsnivå og fordeling mellom sonane vert oppretthalde, men med stor auke i hogsten i skogreisingsområda som diskutert nedanfor, vil det gjeva eit plantetal i kvar region som synt med raude søyler i Figur 5, når det berre vert planta nok til å oppfylle minimumskrava i forskrifta vert plantetalet (alternativ 1). Med same arealgrunnlag og plantettleik som tidlegare tilrådd frå Skog og landskap j.f.r. Tabell 1 vil talet på utsette planter verta som synt med blå søyler. Skilnaden mellom alternativ 1 og 2 er svært stor. I sum for heile landet vil alternativ 1 gje ca 14,6 millionar planter, medan alternativ 2 vil gje ca 47 millionar utsette planter. Forskrifter for forynging og rammevilkår for skogetablering har fylgjeleg svært mykje å seie for planlegginga av frøforsyninga for framtida.

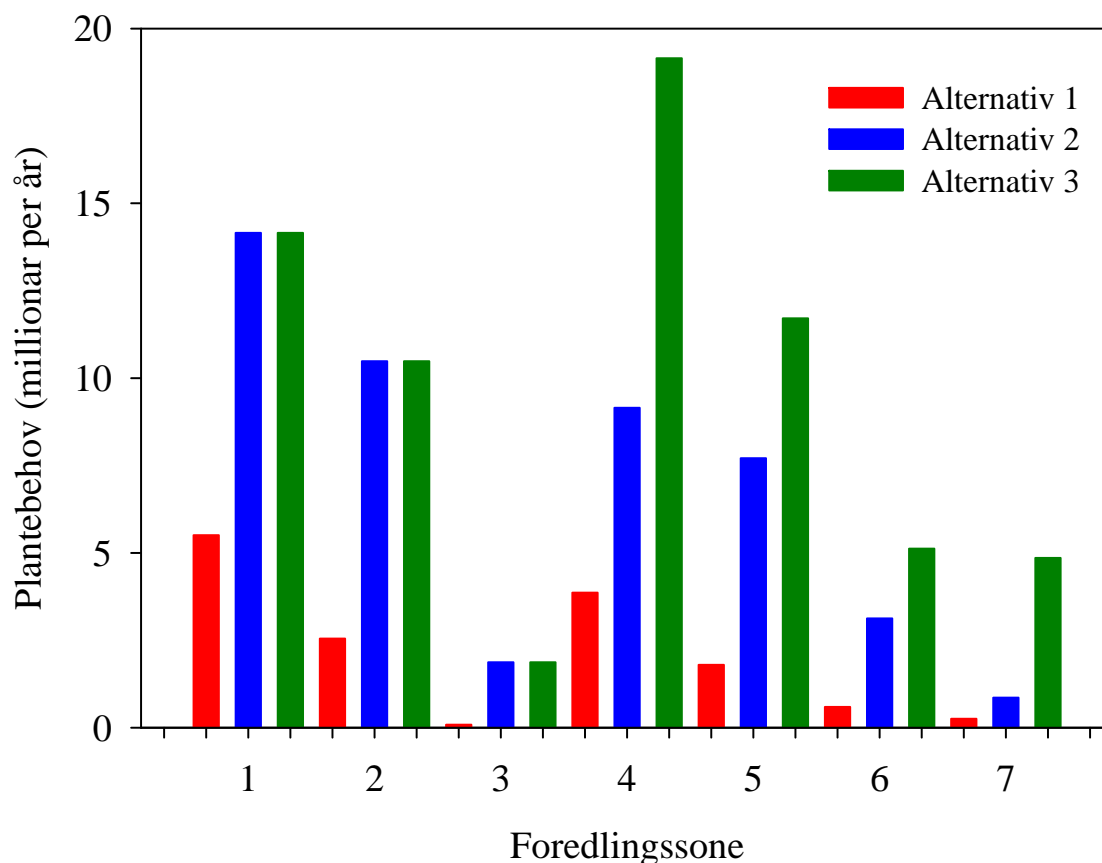
Ut frå virkestilgangen er det truleg i sone 1 og 2 ein rekne med minst avvik frå den noverande situasjonen. I den høgareliggjande skogen i sone 3 og 6, kan der koma store endringar. For om der er store areal der planta skog med foredla materiale hevar boniteten med ein til to klasser over boniteten målt i gamal skog vil det, saman med auka avvirking, føre til eit mykje større frøbehov enn det som er lagt til grunn her. Dette kan enkelt illustrerast ved å rekne ut frøbehovet dersom dei avirka areala har ein H40 bonitet som er høvesvis ein og to klasser høgare enn det som er registrert. Med ei klasse høgare bonitet aukar plantetalet i sone 3 frå 1,87 millionar planter til ca 2,4 millionar, og med to klasser til ca 3 millionar planter. Tilsvarende tal for sone 6, med dagens avvirkingsareal, er ei auke frå 2, millionar til 2,5 millionar for ei klasse og til 3,1 millionar bonitetsheving for to klasser bonitetsheving. Saman med ei ikkje urealistisk dobling av avirka areal kan ein fort nerme seg ei tre- til firedobling av frøforbruket.

Når det gjeld frøbehovet for region 4 og 7, samt skogreisingskogane i sone 5 og 6 er det som nemnt grunn til å rekne med at me vil få same utvikling i hogsten som me no ser i sone 4. Dei virkesrike bestanda representerer så store verdiar for eigaren at røynsla til no er at dei vert avirka så fort dei er hogstmogne og ofte før.

Kåre Hobbeldstad, tidlegare leiar for Landsskogtakseringa, har laga prognoser for utviklinga i hogsten på Vestlandet for dei neste hundre åra (Figur 6). Me ser at avirka volum og dermed areal til forynging aukar svært fort i næraste 30 åra. Dersom krava til forynging av skog i miljøforeskrifta skal overhaldast tilseier figuren rask og sterk auke frøbehovet i skogreisingsområda på Vestlandet. Dei norske frøplanasjane for Vestlandet kan ikkje dekke dette frøbehovet på kort sikt. For den næraste ti års perioden bør ein vurdere å setje i verk tiltak for å sikre tilgangen på frø frå gode sankebestad i landsdelen. Ein bør og førebu

samarbeide og frøimport av eigna utanlandsk materiale ved å ta med slike frøkjelder i avkomforsøka.

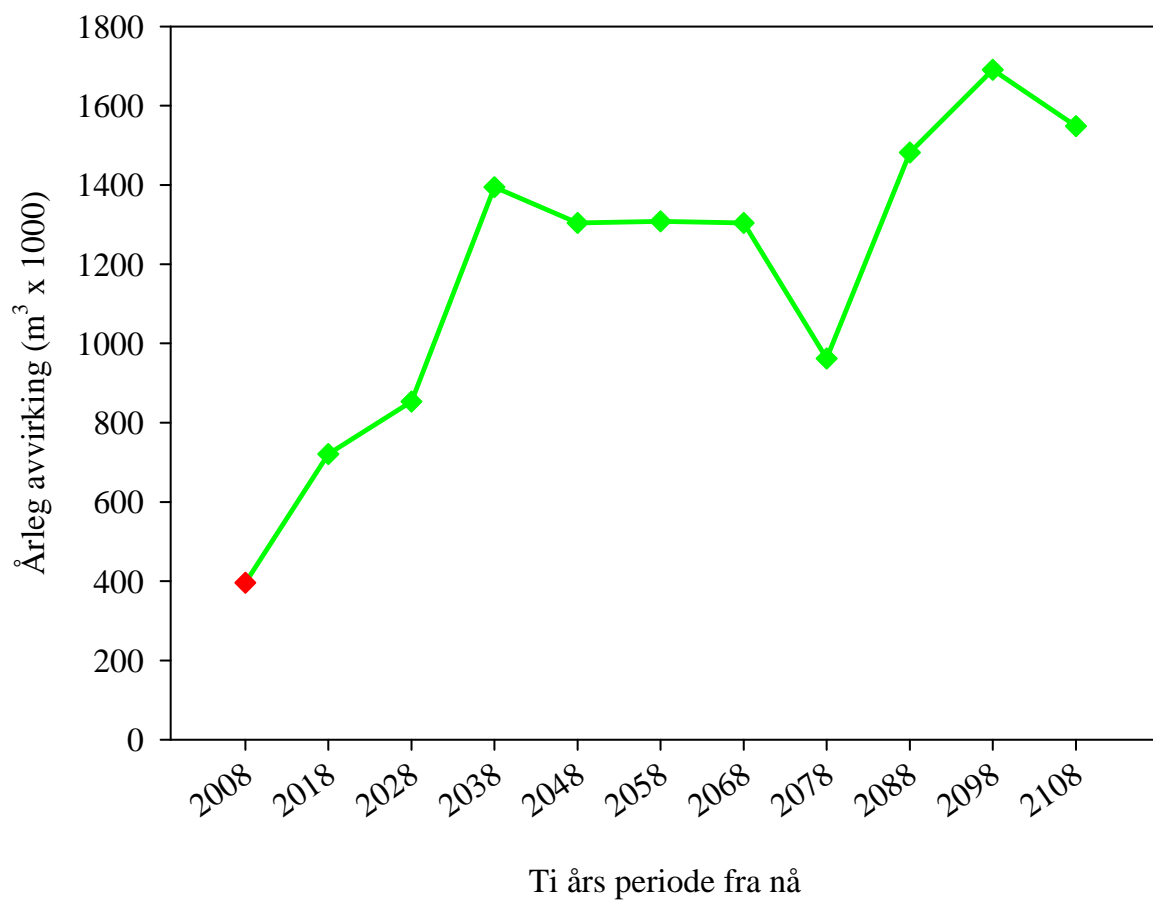
Tala frå Landsskogsøkseringa gjer det ikkje mogeleg å skilje ut skogreisingsskogane i sone 5 og 6. Det er difor ikkje godt å ha ei presis formeinng om kor stort tildriv skogreisingsskogane etterkvart vil gje til auka avvirking og planting i desse to sonene, men den raske veksten i avvirkinga vil koma noko seinare enn på Vestlandet. Her er lagt til grunn at hogsten og foryngingsarealet vert auka med 50 prosent i sone 5 og 6 for alternativ 1 og 2. Det er alternativet 3, med ei klimaskogsatsing som Kystskogmeldinga legg opp til, som vil gje det største utslaget på frøbehovet i sone 4-7, Figur 5, grønne søyler. Dette gjere det naudsynt å samle meir presis informasjon om kva slag areal klimaskogsatsinga vil koma på, det vil seie fordeling på vegetasjonstype og høgdelag. Tala som er presenterte i Figur 5 og Tabell 2 må difor sjåast som høgst førebels når det gjeld region 4-7. Det same gjeld sone 3 av grunnar som er nemnt ovanfor. Det må leggst til at det her er føresettt at heile frøbehovet vert dekt med plantasjefrø. Det er ikkje grunn til å tru at det vil verta slik. Det er meir truleg at den raske auken i bruken av plantasjefrø vil flate ut mellom 75 og 90 prosent av det totale frøsalet.



Figur 5. Plantebehov i dei ulike foredlingssonane. Alternativ 1 og 2 har same arealgrunnlag, men alternativ 1 førest planting som berre tilfredstiller minstekravet i forskrift for bærekraftig skogbruk. Alternativ 2 førest planting opp til tilrådd plantetal frå Skog og landskap. Alternativ 3 har same plantetettleik per dekar som alternativ 2, men det er lagt til grunn planting av klimaskogar i sone 4-7.

Tabell 2. Totalt areal av granskog i alle hogstklasser, årleg avvirka siste fem år, framtidig avvirka areal, tillegg for areal til klimaskogar og frøbehov i kg for dei ulike foredlingssonane, med tre ulike alternativ for framtidig frøbehov, samt alternativ 0 som er dagens situasjon, med planting til tilrådd plantetal som i alternativ 2. Det er rekna at 1000 frø veg 6 gram og at det totale svinnet av frø er 30 prosent.

Sone	Areal hkl I-V	Avvirka areal ha	Framtidig avvirka areal	Arealtillegg for klimaskog	Frøbehov alternativ 0	Frøbehov alternativ 1	Frøbehov alternativ 2	Frøbehov alternativ 3
1	670346	7624	7624	0	110.4	42.9	110.4	110.4
2	746671	6722	6722	0	81.8	19.9	81.8	81.8
3	428664	1676	1676	0	14.6	0.7	14.6	14.6
4	146523	1568	4704	5000	23.8	30.2	71.4	149.4
5	347023	3514	5272	2000	40.1	14.0	60.1	91.3
6	349456	1514	2271	1000	16.2	4.6	24.4	40.0
7	35955	??	617	2000	1.0	2.0	6.7	37.9
	2724638	22618	28886		287.8	114.4	369.3	525.3



Figur 6. Prognose for avvirking av gran på Veslandet. Basert på Landskogtakseringens data. Utarbeidet av professor Kåre Hobbelstad.