



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring

NIBIO RAPPORT | VOL. 3 | NR. 99 | 2017



Gunnhild Sjøgaard, Rasmus Astrup, Micky Allen, Kjell Andreassen, Even Bergseng,
Inger Sundheim Fløistad, Aksel Granhus, Kjersti Holt Hanssen, Ari Hietala, Harald Kvaalen,
Svein Solberg, Halvor Solheim, Arne Steffenrem, Jogeir Stokland og Bjørn Økland

Divisjon for skog og utmark

TITTEL/TITLE

Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring

FORFATTERE/AUTHORS

Gunnhild Søgaard, Rasmus Astrup, Micky Allen, Kjell Andreassen, Even Bergseng, Inger Sundheim Fløistad, Aksel Granhus, Kjersti Holt Hanssen, Ari Hietala, Harald Kvaalen, Svein Solberg, Halvor Solheim, Arne Steffenrem, Jogeir Stokland, Bjørn Økland

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
24.08.2017	3/99/2017	Åpen	10266	17/02447
ISBN:	ISSN:		ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01911-4	2464-1162		86	0

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Norges skogeierforbund

NORSKOG

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Nils Bøhn

Erling Bergsaker

STIKKORD/KEYWORDS:

Klimaendringer, skogbehandling,
skogproduksjon, skogøkonomi, virkeskvalitet

Climate change, forest economics, forest growth
and yield, silviculture, wood quality

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Skogbehandling

Silviculture

SAMMENDRAG/SUMMARY:**LAND/COUNTRY:**

Norge

FYLKE/COUNTY:

Akershus

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Ås

STED/LOKALITET:**GODKJENT /APPROVED**

Bjørn-Håvard Evjen

NAVN/NAME

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Rasmus Astrup

NAVN/NAME

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Optimalisert skogbehandling er sentralt med henblikk på produksjon av virke, virkeskvalitet og skogeiers økonomi. De valg som treffes om planting eller naturlig foryngelse, markberedning, ungsogpleie, tynning eller andre skogbehandlingstiltak får både betydning for de valgmuligheter skogeier vil ha i resten av bestandets omløpsti, for tømmerverdi (virkesproduksjon og kvalitet) og for driftskostnadene. Et endret klima vil påvirke skogens dynamikk og vekst, samt risikoen for ulike typer av skader, og bør dermed påvirke valg av skogbehandling. Det var bakgrunnen for at Norges skogeierforbund og NORSKOG i 2015 søkte Skogtiltaksfondet om støtte til prosjektet «Skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring».

NIBIO fikk i oppdrag å belyse ulike skogbehandlingstema. Denne rapporten gir en oversikt over kunnskapsstatus om ulike skogbehandlinger, betydning av klimaendringer for disse, og peker på viktige kunnskapshull når det gjelder anbefalinger for skogbehandlingen der disse forekommer. Hvilke temaer som belyses, og strukturen i dokumentet, er bestemt i samråd med næringen. For noen temaer er det usikkerhet rundt hvilke anbefalinger man skal gi, fordi både forskningen og empirien spriker. I slike tilfeller er dette forsøkt belyst i teksten.

Gunnhild Søgaard og Rasmus Astrup har vært prosjektledere ved NIBIO. Kjersti Holt Hanssen og Even Bergseng har redigert rapporten i siste del av prosjektperioden.

Det er ulike bidragsyttere til de ulike kapitlene:

Innledning: Gunnhild Søgaard og Rasmus Astrup

Forventede klimaendringer i Norge og betydningen av disse: Rasmus Astrup (forventede klimaendringer - klimascenarier), Micky Allen og Gunnhild Søgaard (skogens vekst og utvikling), Svein Solberg (abiotiske skader), Bjørn Økland (biotiske skader, granbarkbillen), Ari Hietala (biotiske skader, rotkjuke).

Foryngelse: Kjersti Holt Hanssen (foryngelsesform, markberedning, snutebiller, suppleringsbehov) Inger Sundheim Fløistad (kjemisk ugraskontroll, plantetyper), Arne Steffenrem (valg av plantemateriale), Harald Kvaalen (plantetetthet), Even Bergseng (markberedning, suppleringsbehov).

Treslagsvalg: Aksel Granhus (blandingsskog), Svein Solberg (risiko), Ari Hietala og Halvor Solheim (bjørk som alternativ i råteutsatte bestand), Jogeir Stokland (utbredelsesområder ved klimaendring), Rasmus Astrup (treslagsskifte for redusering av risiko).

Ungskogpleie: Harald Kvaalen (hovedforfatter av kapitlet), Svein Solberg (betydning av tetthet for risiko sammen med H. Kvaalen), Ari Hietala og Halvor Solheim (avstandsregulering og råte), Even Bergseng (økonomi)

Tynning: Kjell Andreassen (hovedforfatter av kapitlet), Micky Allen. Ari Hietala og Halvor Solheim (tynning og råte).

Gjødsling: Kjersti Holt Hanssen

Foryngelseshogst: Kjell Andreassen (produksjon ved ulike hogsttyper), Aksel Granhus (fjellskoghogst), Svein Solberg (hogstform og risiko), Gunnhild Søgaard (hogsttidspunkt og produksjon), Ari Hietala (råte), Even Bergseng (hogsttidspunkt og økonomi).

Økonomiske rammer: Even Bergseng

Ås, 24.08.17

Innhold

1	Innledning	6
1.1	Bakgrunn og avgrensinger	6
2	Forventede klimaendringer i Norge og betydningen av disse	7
2.1	Forventede klimaendringer i Norge - klimascenarier	7
2.1.1	Fremtidige endringer	8
2.2	Betydning av klimaendringer for skogen – overordnet nivå	8
2.2.1	Skogens vekst og utvikling i et klima i endring	9
2.2.2	Skader og risiko	11
2.2.3	Skogbehandling	15
3	Prioriterte skogbehandlingstema	16
3.2	Foryngelse	16
3.2.1	Foryngelsesform og oppfyllelse av foryngelsesplikten	16
3.2.2	Markberedning	16
3.2.3	Kjemisk ugraskontroll på foryngelsesfelt i skog	20
3.2.4	Plantetype: ett- og toårig, M95, M60	21
3.2.5	Valg av plantemateriale	22
3.2.6	Plantetetthet	23
3.2.7	Gransnutebiller	27
3.2.8	Suppleringsbehov	29
3.3	Treslagsvalg	30
3.3.1	Blandingsskog	30
3.3.2	Treslagsskifte	34
3.3.3	Utbredelsesområder ved klimaendring	36
3.3.4	Treslagsskifte for reduisering av risiko i et endret klima	38
3.4	Ungskogpleie	38
3.4.1	Lauvrydding	38
3.4.2	Avstandsregulering	39
3.4.3	Betydning av tetthet for risiko for snø- og vindskader	40
3.4.4	Betydning av avstandsregulering for råte	42
3.4.5	Økonomi ved ungsogpleie	42
3.4.6	Antall inngrep, tidspunkt og høyde ved inngrep	42
3.5	Tynning	43
3.5.1	Effekter av tynning på skogproduksjon	43
3.5.2	Betydning av klimaendring	44
3.5.3	Tynning i blandingsbestand	44
3.5.4	Tynningsmal og tynningsmetoder	45
3.5.5	Tynning og råte	47
3.5.6	Kunnskapshull/forskningsbehov	48
3.6	Gjødsling	48
3.6.1	Gjødseltyper, dosering og gjødslet areal	48
3.6.2	Aktuell skog og effekter under ulike forhold	49
3.6.3	Ungskoggjødsling – forkorting av omløpet	50
3.6.4	Mål	50

3.6.5	Kunnskapshull	50
3.7	Foryngelseshogst	51
3.7.1	Hogstform	51
3.7.2	Hogsttidspunkt	53
3.8	Økonomiske rammer	56
3.8.1	Prising av tømmer	56
3.8.2	Driftskostnader	57
3.8.3	Avkastningskrav/kalkulasjonsrente.....	57
3.8.4	Risiko	58
4	Anbefalinger for skogbehandling: oppsummert	61
4.1	Foryngelse	61
4.1.1	Markberedning.....	61
4.1.2	Kjemisk ugraskontroll.....	61
4.1.3	Plantetype	61
4.1.4	Valg av plantemateriale	62
4.1.5	Plantetetthet og supplering	62
4.1.6	Gransnutebiller	63
4.2	Treslagsvalg	63
4.3	Ungskogpleie	64
4.4	Tynning	64
4.5	Gjødsling	65
4.6	Foryngelseshogst	65
5	Kunnskapshull oppsummert.....	67
5.1	Innledning.....	67
5.2	Kunnskapshull innen hvert område.....	67
5.2.1	Betydning av klimaendringer for skogen	67
5.2.2	Foryngelse	68
5.2.3	Treslagsvalg	70
5.2.4	Ungskogpleie	70
5.2.5	Tynning.....	70
5.2.6	Gjødsling.....	70
5.2.7	Foryngelseshogst.....	70
6	Litteraturreferanser	72

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og avgrensinger

Fokus i denne rapporten er på skogbehandlingen, og på maksimering av verdiproduksjon. En forutsetning for dette er høy sagtømmerproduksjon, samtidig som det er viktig å vurdere arealets totale tømmerverdi.

Følgende forutsetninger ligger til grunn for rapporten:

Bevaring av biologisk mangfold og ivaretagelse av andre flerbrukshensyn

Det legges til grunn at all skogbehandling utføres i henhold til dagens lovverk og frivillige sertifiseringsordninger, og at dette ivaretar hensyn til biologisk mangfold og andre flerbrukshensyn. Vi går derfor ikke inn på betydningen ulik skogbehandling vil ha for biologisk mangfold eller andre flerbrukshensyn, eller tilpasninger av skogbehandlingen for dette.

Bærekraftig skogbruk i klimasammenheng

Miljødirektoratet mfl. (2016) drøfter vern eller bruk av skog som klimatiltak. I rapporten konkluderes det med at det ikke er grunnlag for å vektlegge vern av norsk skog som klimatiltak. En forutsetning er at det drives et bærekraftig skogbruk i klimasammenheng. Dette ble definert som følger: «*Bærekraftig skogbruk i klimasammenheng innebærer at skogens produktivitet og evne til å lagre karbon ikke forringes, og at karbonbeholdninger ikke reduseres permanent.*» (Miljødirektoratet mfl. 2016). Vi forutsetter gjennom rapporten at skogbehandling drives bærekraftig i tråd med denne definisjonen, uten at vi går nærmere inn på betydningen og eventuelle nødvendige tilpasninger.

Skogbehandling for å motvirke klimaendringer

Skogbehandling som motvirker klimaendringer, for eksempel ved å øke karbonopptaket, vil i mange tilfeller være i samsvar med skogbehandling for maksimal verdiproduksjon, men ikke alltid. Vi har i denne rapporten kun fokusert på verdiproduksjon, og betydning av skogbehandling på ulike karbonbeholdninger er ikke vurdert.

Driftstekniske forhold («hvordan ta ut tømmeret»)

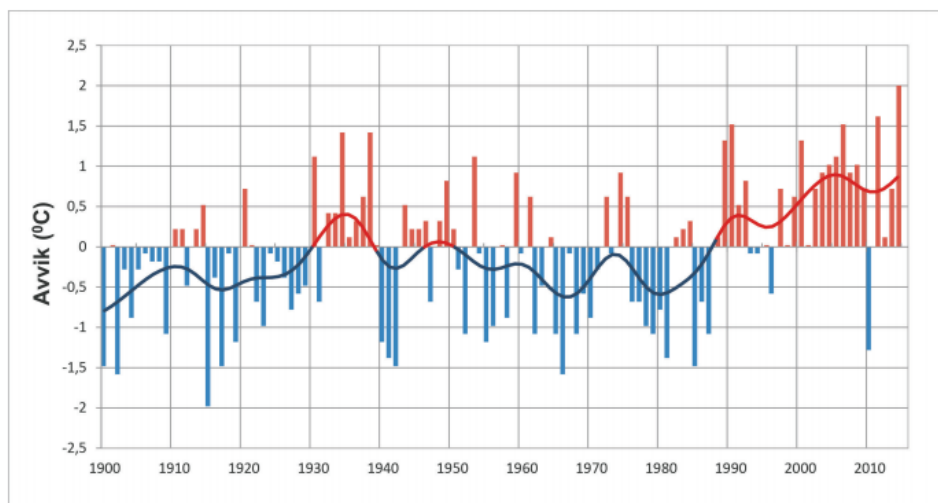
Driftskostnader vil være av stor betydning for skogeiers økonomiske resultat, og både de endringer vi allerede ser og forventede klimaendringer er forventet å gi større driftstekniske utfordringer. I denne rapporten ser vi imidlertid utelukkende på den betydning skogbehandlingen vil ha for antatt verdiproduksjon.

2 Forventede klimaendringer i Norge og betydningen av disse

2.1 Forventede klimaendringer i Norge - klimascenarier

Rapporten «Klima i Norge 2100» (Norsk klimaservicesenter 2015) gir et overblikk over historiske endringer i klima og mulig utvikling av klimaet under ulike utslippsscenarioer. Dette avsnittet trekker frem noen av de viktigste funnene fra «Klima i Norge 2100» med henblikk på skogbehandling for verdiproduksjon i et klima i endring. Endringene i klima har allerede, og vil fremover, påvirke vekst og dynamikk i norsk skog. Samtidig vil klimaendringer påvirke abiotiske og biotiske risikofaktorer – dette vil skje gjennom endringer i temperatur og nedbør, men også gjennom endringer i frekvens, tidspunkt og alvorlighetsgrad av storm, frost, snø og flom.

Det er allerede observert ganske store endringer i klimaet gjennom de siste 100 år. I referanseperioden 1971-2000 var årsmiddeltemperaturen for Norge + 1,3 °C (figur 1) med høyest temperatur langs kysten av Sør-Norge (opp til +7 °C) og lavest i høyfjellet (ned til - 4 °C) (Norsk klimaservicesenter 2015). Rapporten viser at årsmiddeltemperaturen har økt med ca. 1 °C fra 1900 til 2014. Samtidig har det de siste 100 år vært perioder med både stigende og synkende årsmiddeltemperatur, men det fremheves at de siste 40 år har økningen vært markant (figur 1). «Klima i Norge 2100» fremhever at temperaturøkningen har vært størst om våren og minst om vinteren, med en tendens til større økning i minimumstemperatur enn i middeltemperatur.



Figur 1. Utvikling av årsmiddeltemperatur for fastlands-Norge 1900-2014. Figuren viser avvik (°C) fra middelverdien for referanseperioden 1971-2000. (kilde: Klima i Norge 2100)

«Klima i Norge 2100» oppsummerer at ”årsnedbøren har økt over hele Norge siden år 1900, og for landet som helhet er økningen på ca. 18 %. Økningen er størst om våren og minst om sommeren. Også for kraftig nedbør i løpet av kort tid har det de senere år vært en økning både i intensitet og hyppighet”.

Med henblikk på vind har det ikke vært observert tydelige tendenser siden 1900. Langs kysten og i høyfjellet blåser det stiv kuling eller mer 1 % av tiden. De siste 50 år har det vært en svak økning i vindhastigheten, men det fremheves at det er store variasjoner fra år til år, og mellom ulike lokaliteter (Norsk klimaservicesenter 2015).

Samlet sett har utviklingen i klima gjennom de siste år i Norge påvirket de fundamentale faktorene temperatur og nedbør i en retning som bør føre til en økning i skogens vekst.

2.1.1 Fremtidige endringer

I henhold til «Klima i Norge 2100» vil naturlige variasjoner i ”de neste 10-20 år i stor grad dominere over «klimasignalet» som skyldes økt drivhuseffekt”, og rapporten anbefaler derfor at man ”i dette tidsperspektivet benytter oppdaterte data for «dagens klima» i stedet for framskrivninger”. På lengre sikt, som jo er svært relevant med henblikk på skogbehandling, må man benytte framskrivninger av klimaet. De fremtidige klimaendringer vil avhenge av hvilket utslippsscenario man legger til grunn. «Klima i Norge 2100» analyserer konsekvensene av to ulike scenario. Utslippsscenarioet «RCP8.5» innebærer at utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til slutten av dette hundreåret. RCP8.5 resulterer i store endringer i klimaet i Norge, men er absolutt et reelt scenario. «RCP4.5» innebærer små utslippsendringer fram til 2050, og deretter utslippskutt. «RCP4.5» representerer mer moderate klimaendringer enn «RCP8.5». Selv de moderate endringer som følge av «RCP4.5» er fortsatt av en slik størrelse at de vil ha store effekter på skogens vekst og dynamikk.

I følge rapporten gir medianframskrivningen for utslippsscenario RCP8.5 over en 100-årsperiode en økning i årsmiddeltemperaturen for Norge på ca. 4,5 °C (spenn: 3,3 til 6,4 °C). Videre fremheves det at ”for deler av Finnmark gir medianen en oppvarming på mer enn 6 °C, mens oppvarmingen på Vestlandet beregnes å ligge nær den globale middelveien på 3,7 °C”. Med dette utslippsscenarioet forventes størst oppvarming om vinteren, og minst om sommeren. For RCP4.5 beregnes medianverdier for Norge på 2,7 °C.

Angående nedbør oppsummerer «Klima i Norge 2100» at ”både årsnedbør, antall dager med kraftig nedbør og nedbørmengden på dager med kraftig nedbør forventes å øke. For utslippsscenarioet RCP8.5 viser medianframskrivningen en økning i årsnedbør for Norge på 18 % mot slutten av århundret, en dobling av dager med kraftig nedbør og en økning i nedbørmengden på dager med kraftig nedbør på 19 %”.

I henhold til «Klima i Norge 2100» ”beregnes kun meget små endringer både i middelvind og hyppighet av episoder med store vindhastigheter”. Med henblikk på vinteren beregnes det ”kortere snøsesong i hele landet. Reduksjonen i antall dager med snø blir størst i lavlandet, hvor medianverdien for det høye utslippsscenarioet, RCP8.5, gir flere måneders reduksjon i snøsesongen mot slutten av århundret. Dette skjer som følge av at økte temperaturer gir en senere start på snøleggingen, og tidligere start på snøsmeltingen”.

Når det gjelder tørke oppsummerer rapporten at ”det beregnes en økning i markvannsunderskuddet, spesielt mot slutten av århundret. Også varigheten av perioder med lav grunnvannstand og lav vannføring i elver kan øke flere steder i landet. Økningen blir vesentlig større med RCP8.5 enn RCP4.5.”

Selv om utviklingen i klimaet de siste år i Norge i sum bør føre til økt vekst i skogen, er det noen forbehold om utfordringer relatert til tørke i slutten av århundret. I tillegg kan et endret klima lede til et sterkt endret skadebilde, og RCP 8.5 representerer så store endringer i klima at det potensielt kan ha veldig store og uforutsette endringer på skogens dynamikk og utvikling.

2.2 Betydning av klimaendringer for skogen – overordnet nivå

De forespeilede klimaendringene vil ha betydning for skogens vekst og produksjon, men også på ulike abiotiske og biotiske risikofaktorer. Dette beskrives nærmere i dette kapitlet.

2.2.1 Skogens vekst og utvikling i et klima i endring

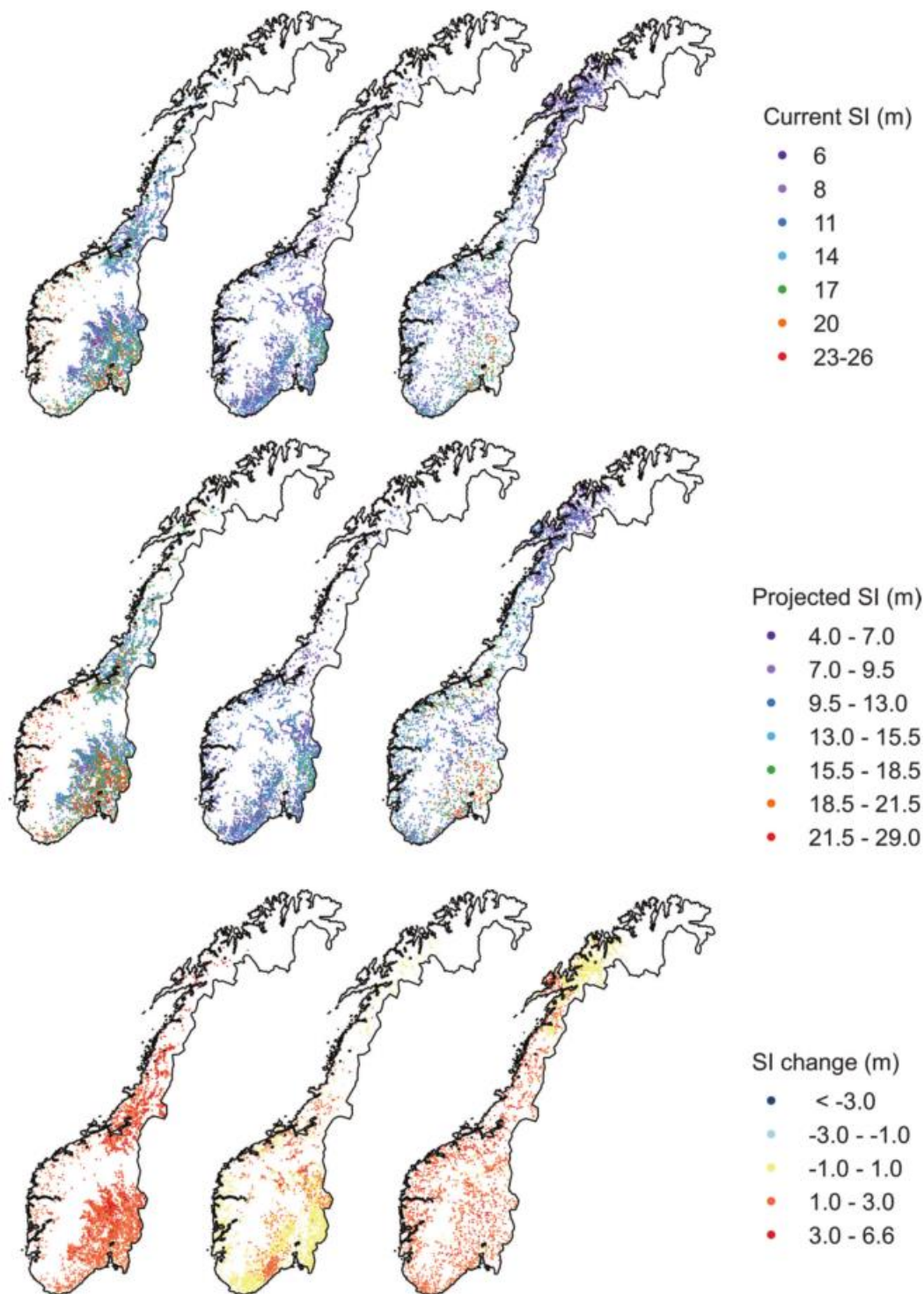
Med de nyere mer ekstreme klimahendelser og generelle endringer i klima i ulike årstider er et viktig spørsmål hvordan disse klimaendringene vil påvirke skogen tilvekst og totalproduksjon. En forståelse av konsekvensene av klimaendringer på skogens tilvekst og totalproduksjon er kritisk for å forutsi fremtidig biomasse- og volumutvikling, samt å forstå hvordan skogen vil påvirke det globale karbonkretsløpet. Nylig publiserte funn har vist at klimaendringene kan ha både positive og negative effekter på skogens tilvekst og totalproduksjon. Pretzsch mfl. (2014) viste at norsk gran (*Picea abies* (L.) Karst.) og europeisk bok (*Fagus sylvatica* L.) i Sentral-Europa viser betydelig raskere volumvekst på både enkelttre- og bestandsnivå enn i 1960 og tidligere, særlig i svært produktive områder. Forfatterne kobler denne forbedrede veksten til en økning i temperatur samt lenger vekstsesonger. Temperaturstigning ser ut til å være et bidrag til økt vekst og produksjon i mange studier, men andre studier har også indikert at økte temperaturer, som følge av endringer i nedbør, kan påvirke skogens vekst og produksjon negativt.

I en studie av endring i biomasse i boreale Canada, fant Ma mfl. (2012) at vekstratene var synkende i vestlige Canada, hovedsakelig på grunn av tørkeindusert vannstress, mens vekstrater i østlige Canada var økende. Hember mfl. (2012) viste at biomasseproduksjon var økende i de tempererte-maritime skogene i British Columbia, Canada. Wu mfl. (2014) foreslo at forskjellen i biomassevekst, overgangen fra positiv til negativ endring fra kysten til innlandet vestlige Canada, skyldes endringen i årlig nedbør. Forfatterne hevder at økt atmosfærisk innhold av CO₂, gjødsling og økt sommertemperatur også fører til økt tilvekst av trærnes biomasse, men at denne økningen i tilvekst ikke inntreffer i perioder med sommertørke. Disse observasjonene er funnet av flere ved bruk av forskjellige data og metoder over hele Canada (Hember mfl. 2017; Ma mfl 2014.).

Tilsvarende resultater har blitt funnet i boreale Fennoskandia bl.a. av Andreassen mfl. (2006) som påpeker redusert vekst ved økt temperatur på forsommeren i midlere og lavereliggende strøk på sørøst-landet. Kauppi mfl. (2014) fant en signifikant økning i biomassevekst av skog i Finland. I tillegg til utvidet vekstsesong og høyere temperaturer, koblet forfatterne også akselerert vekst til høyere jordtemperaturer fordi lave temperaturer begrenser økosystemtjenester, slik som mobilisering av nitrogen i jordsmonnet. Ruiz-Benito mfl. (2014) viste at økt vekst i grunnflate i tillegg var avhengig av tilgang på vann. Dette er et spesielt viktig poeng for områder i Norge som har relativt grunt jordsmonn. Selv i tilfeller hvor lang (for)sommertørke ikke er et problem, kan høyere temperaturer om sommeren når dagene er lengre føre til tørkelignende indusert stress i korte perioder mellom nedbørshendelser, på grunn av lav vanntilgang i grunne jordsmonn. Her vil det være regionale forskjeller. Mäkinen mfl. (2002) så på betydningen av temperatur og nedbør på regional variasjon av vekst i gran i Tyskland, Finland og Norge. De fant at lave temperaturer var en mer begrensende faktor for vekst mot nord og fjellet, mens betydningen av nedbør økte mot sør og i lavlandet. Også Andreassen mfl. (2006) fant i årringanalyser at vekst i gran var begrenset av nedbør i lavlandet i Sørøst-Norge, men av temperatur i andre regioner og mot fjellet.

I et prosjekt ledet ved Norsk institutt for skog og landskap (nå NIBIO) ble det fokusert på tørkeproblemer på gran i lavlandet på Østlandet (Solberg mfl. 2013). I sluttrapporten fra prosjektet ble det konkludert at risikoen for tørkeskader i enkelte år kan øke noe, men at resultatene samlet sett tydet på en økning i produksjonsevnen for gran over det meste av landet, også lavlandet på Østlandet (se også kap. 2.2.2.1.2 om tørke).

Antón-Fernández mfl. (2016) analyserte skogens produksjonsevne i Norge, og forventer økning i bonitet for gran, furu og lauvdominert skog basert på klimaprognoser frem til år 2100 (figur 2). Men, utenom dette er det lite informasjon tilgjengelig om antatte endringer i skogens tilvekst og produksjon på grunn av et endret klima i Norge. Basert på framskrivninger av fremtidige værmønstre og resultater for andre regioner i den boreale sonen, forventes det at generelt vil skogens tilvekst øke over hele Norge. Endringer omfatter økt biomassevekst på enkelttre- og bestandsnivå, men dette har resultert i høyere mortalitet i andre regioner på grunn av selvtynning (Chen og Luo 2015; Pretzsch mfl. 2014).



Figur 2. Dagen (øverst), framskrevet (midten), og endring (nederst) i bonitet (SI,m) for gran (venstre), furu (midten), og lauvtredominert (høyre) skog basert for forventet klimaendring. Figur fra Antón-Fernández mfl. (2016).

Oppsummert, basert på nåværende og fremtidige framskrivninger om klimaendring kan vi generelt forvente økninger i enkelttre- og bestandsvekst og totalproduksjon. Høyere temperaturer vil resultere i at jorda er frosset for en kortere periode, som i sin tur fører til lengre vekstsesonger. Mindre tele vil også gi lengre perioder for karbon- og nitrogendeponering, som sammen med økt nedbrytning av død ved resulterer i en gjødslingseffekt. I tillegg vil høyere nivåer av CO₂ i atmosfæren og høyere

temperaturer resultere i økte fotosynteserater så lenge tilgang på vann ikke er en begrensende faktor. Det er generell enighet i litteraturen om en positiv effekt av klimaendringer på veksten og produksjonen i boreal skog. Fordi vekstratene øker forventes det å oppstå noen generelle endringer. Måling av markas produksjonsevne basert på høyde og alder (dvs. bonitet med H40-systemet) vil generelt underestimere stedets produktivitet når klimatiske faktorer ikke tas hensyn til. Økt biomassevekst vil også resultere i at selvtynning kan inntre tidligere enn før. Mens maksimale størrelse-tetthet relasjoner ennå ikke har vist seg å endres vesentlig med endret klima, har økt vekst vist seg å gi raskere utvikling av bestandet. Resultatet er at uskjøttede bestand har høyere forekomst av selvtynning. Imidlertid har økt individuell trevekst resultert i økt netto produksjon på bestandsnivå også med høyere grad av selvtynning.

2.2.2 Skader og risiko

I dette kapitlet redegjør vi på generelt nivå litt om forventet utvikling for abiotiske og biotiske skader ved klimaendring.

2.2.2.1 Abiotiske skader – frost, tørke, storm- og snøskader

2.2.2.1.1 Frost og klimatiske vinterskader

Varmere vintre og et mer oseanisk klima med mindre temperaturvariasjoner gjennom året vil gi flere dager med minimumstemperaturer over 0 °C, og en langsommere overgang mellom vinter og vår kan føre til en økning i frostskaider på skog. Varme perioder på senvinteren vil redusere trærnes hardighet og toleranse for påfølgende frost. Om vinteren, når trærne er i hvilefasen, varierer frosthardigheten fortløpende med minimumstemperaturen de foregående dagene. Det er en viss tregheit i systemet slik at vedvarende mildvær gir redusert frosthardighet, og muligheter for frostskaider ved påfølgende kulde. Slike frostskaider kan utvides til det mer generelle begrepet klimatiske vinterskaider, som opptrer som sviskskaider og hvor årsakene kan være uklare og sammensatt av frost, vind, uttørking og sjørøkk. Temperaturvariasjoner omkring null grader kan gi såkalte fryse-tineskaider. Om våren etter at trærnes kuldekrav er oppfylt, vil varmt vær sette i gang prosesser i trærne som leder fram mot vekststart. Disse prosessene er irreversible, og gir redusert hardighet og fare for frostskaider ved påfølgende kulde. Klimaendringer kan på denne måten føre til en økning i omfanget av vinter- og vårfrostskaider, særlig i innlandet, men dette vil avhenge av i hvilken grad man får påfølgende kuldeperioder etter milde og varme perioder. Risikoen for slike skader vil også avhenge av epigenetiske effekter. Dersom frøproduksjonen skjer under varmere forhold så vil både vekststart om våren og vekstavslutning om høsten starte seinere (Johnsen et al. 2009). Innen en og samme klon er det vist at høy og lav temperatur under embryoutviklingen endrer uttrykket av gener som er relatert til knoppbrytingen på tilsvarende måte som en ser i provenienser/økotyper fra kalde og varme miljø (Carneros m.fl. 2017). Det vil si at en i alle fall en del av den variasjonen en ser mellom provenienser når det gjelder fenologi skyldes epigenetiske effekter.

2.2.2.1.2 Tørke

Tørkeskaider i vegetasjonsperioden rammer særlig granskog på Øst- og Sørlandet, men klimascenariet gir ikke noe klart bilde av om dette problemet vil øke eller ikke. Tørkeskaider kan gi sterke skader på gran, både direkte og indirekte gjennom svekkelser og påfølgende angrep av barkbiller og sopp på rotsystemet (*Armillaria* spp.). Tørke øker også risikoen for skogbrann. Generelt er granskogens vekst i lavlandet i denne landsdelen vannbegrenset, og isolert sett kan man tenke seg at en temperaturøkning fører til mer tørke. Men samtidig ventes mer nedbør, og effekten avhenger av hvordan temperaturen og nedbøren fordeler seg gjennom sommeren. Som en illustrasjon på dette kan nevnes at vi må helt tilbake til 1947 for å finne de sterkeste tørkeskadene gjennom de siste 100 år, til tross for at vi har hatt en pågående klimaendring i flere tiår.

2.2.2.1.3 Storm- og snøskader

Omfanget av stormskader ventes å øke i årene framover – særlig høst- og vinterstid. Årsakene er en svak økning i frekvensen av episoder med sterk vind, økt nedbørmengde, og sannsynligvis mindre tele og våtere jord vinterstid, samt en akkumulering av gammel skog. Andre forhold som kan bidra til mer stormskader er kraftige nedbørepisoder og mer rotråte. Faren for rotvelt øker når jorda er vannmettet fordi forankringen svekkes. Våt snø i trekronene øker vindfanget og utgjør en betydelig tyngdekraft-komponent når trærne svaier. Foreløpige beregninger fra Meteorologisk institutt (Ole E. Tveito, pers. medd.) viser at fjellstrøkene i Sør-Norge vil bli særlig utsatt for snøbrekk på grunn av hyppigere forekomster av sterke snøfallsepisoder med våt snø. Det forventes at vi vil ha bedre data tilgjengelig fra 2018, gjennom et forskningsprosjekt som nå er i startfasen.

Storm er i utgangspunktet den mest omfattende skadeårsak på skog i Europa, så en viss økning her kan få store konsekvenser. Regnet i kubikkmeter utgjorde stormskader 53 % og snøskader 3 % av skogskadene i Europa de siste 50 år. Den økende kubikkmassen med gran på Vestlandet kan gi en sterk økning i omfanget av storm- og snøskader. Granskogen her har ofte blitt plantet tett og dette har ført til lav enkelttre-stabilitet, dvs. små rotsystemer og lavt diameter / høyde-forhold. Trærne blir ofte svært høye her, og risikoen for stormskader øker sterkt med trehøyde, og sterk vind og store snøfall med våt snø skjer hyppig. Skogen står ofte i bratt og uveisomt terreng, og lav avvirkning bidrar til opphopning av gammel skog. Et særlig problem med slike skader i denne landsdelen er trefall på kraftlinjene.

2.2.2.2 Biotiske skader – insekter og sopp

Biotiske skogskader skyldes generelt interaksjoner mellom trær, skadegjørere og miljø. Skadene oppstår gjerne når miljøforholdene er fordelaktige for formering og spredning av skadegjørerne og når mottakelighet hos vertstrærne er stor. De mest mottakelige trærne er gjerne de som er svekket av ugunstige miljøfaktorer (f.eks. tørkestress), men ved høyt «angrepstrykk» kan også vitale trær angripes. Både edafiske og klimatiske forhold og menneskelige aktiviteter som skogbehandlinger påvirker trærnes vitalitet og populasjonsstørrelse av skadegjørerne.

Skadegjørerne har som regel mye kortere generasjonstid enn trær, noe som gjør at de har bedre utgangspunkt enn trærne for å tilpasse seg til endringer i klima. Mange skadegjørere spres raskt over lange avstander ved hjelp av både naturlig og menneskehjulpel spredning (f.eks. plantehandel og tømmertransport), og et varmere klima gjør at flere av disse artene kan overleve på våre nordlige breddegrader. Etablering av nye fremmede skadegjørere i trepopulasjoner uten utviklet genetisk motstandsdyktighet kan få store økonomiske og økologiske følger, som for eksempel askeskuddsyke som truer europeisk ask (f.eks. Tollefsrud mfl. 2017). En rekke svært alvorlige skadegjørere av insekter og sopp kan invadere og bli nye trusler for norsk skog i fremtiden (www.eppo.org, www.vkm.no).

Skogskjøtsel og god skogbruksplanlegging kan være viktig for dempe fremtidige skogskader på grunn av insekter og sopp. Det gjelder å sørge for trevitalitet og motstandsdyktighet mot biotiske skader ved å opprettholde høy genetisk variasjon (dvs. tilpasningskapasitet) i trepopulasjonene og å legge til rette for trærnes tilpasning til klimaendringer og økt angrepstrykk fra biotiske skadegjørere. Det dreier seg også om skogbruksplanlegging som gjennom valg av skogstruktur og treslag kan bidra til å dempe angrepstrykket fra skadegjørende insekter og sopper.

Det er vanskelig å forutse eksakt hvordan klimaendringer kommer til å påvirke generell skoghelse, siden biotiske skader oppstår som resultat av komplekse og dynamiske interaksjoner mellom trær, miljø og skadegjørere. Flere skadegjørere vi har eller kan få i fremtiden kan vise seg å gi betydelige skogskader. Vi har imidlertid valgt å fokusere på de skadegjørerne som har gjort mest skade i norske barskoger fram til nå og som kan forventes å bli enda mer skadelige i fremtiden, dvs. granbarkbillen og rotkjuke. Vi gir en oversikt over kunnskapsstatus om betydning av klimaendringer for disse skadegjørerne, og vi drøfter forebyggende skogbehandlinger og peker på viktige kunnskapshull for å kunne foreskrive en optimal skogskjøtsel for å dempe risikoen for omfattende skogskader.

2.2.2.2.1 Granbarkbillen

De alvorligste insektskadegjørerne i barskog er barkbiller, og mye tyder på at de responderer på et varmere klima. For eksempel har mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*) opprinnelig utbredelse vest i USA, men denne arten har i de siste 10-årene rykket stadig lenger mot nord og øst (Cullingham mfl. 2011). Den har satt i gang tidenes største barkbilleutbrudd og ekspanderer stadig mot øst og nord i Canada, hvor den i løpet av en 10-årsperiode har drept furuskog tilsvarende 70 ganger Norges årlige skogavvirkning. I tillegg til økonomisk tap, har slike utbrudd uheldige effekter på biomangfold og karbonlagring (Kurz mfl. 2008). I Europa er det granbarkbillen som gjør størst skade. Den har periodiske utbrudd ulike steder i Europa og har i løpet av 50 år drept 150 millioner kubikkmeter granskog (Økland mfl. 2016). Det har ikke vært omfattende utbrudd av granbarkbillen i Norge de siste 10-årene, men på 70-tallet gikk det med granskog tilsvarende 2,3 milliarder kroner i tømmerverdi under barkbilleutbrudd på Østlandet. De nordlige granskogene i Norge og Europa for øvrig har så langt vært forskånet for omfattende barkbille-utbrudd, men det er flere indikasjoner på at noe er på gang også her. Granbarkbillen har hatt liten betydning i nordlige Arkhangelsk og Finland tidligere, men i perioden 1999-2004 var det et stort utbrudd i Arkhangelsk, og i Finland har det i årene etter 2010 vært observert økende billeskader og fangster av granbarkbillen. I Norge hadde vi noen varme og tørre år i nord fra 2001 til 2009 med kraftig økning av billefangstene og spredte skogskader. I det siste året (2016) hadde Sør-Trøndelag den høyeste verdien som har vært målt for dette fylket i barkbilleovervåkingen, og flere kommuner i Nord-Trøndelag rapporterer om spredte forekomster av skader på grunn av granbarkbiller (Økland og Wollebæk 2016). Dersom klimaet legger forholdene til rette for nye norske utbrudd, så er det et grunnleggende spørsmål om skogskjøtsel kan redusere sjansen for nye utbrudd og begrense skadene i utbrudd som oppstår.

Det er særlig tre faktorer som disponerer for barkbilleutbrudd (Økland mfl. 2015): (1) Mengden av overvintrende biller avgjør om «billetrykket» kan bli stort. (2) Varme og tørre forhold i sommer-sesongen favoriserer «billetrykket» ved at forholdene for flukt og formering hos billene blir bedre, og bidrar dessuten til at flere trær kan bli tørkestresset og lettere mottakelig for billeangrep. (3) Store vindfellinginger gir mye «billemat» og stor oppformering av barkbiller som kan bidra betydelig til «billetrykket» i påfølgende sesong (Marini mfl. 2017). Varmere sommersesonger gir dessuten raskere utvikling av alle stadier i livssyklus og øker muligheten for 2 generasjoner i stedet for en generasjon av granbarkbiller per sesong (Lange mfl. 2006). Andre billegenerasjon vil i Norge ofte være aktiv på sensommeren når skogen er tørrere og mer mottakelig for billeangrep (Horntvedt 1988). Selv om billene i andre generasjon ikke når overvintrende stadium (imago), slik som observert i Finland i 2010, så bidrar de likevel til økt angrep og skade på skogen (Pouttu & Annala 2010). Det har vært spekulert i om lange dager i nord vil utløse diapause, men eksperimenter fra flere breddegrader i Sverige tyder på at fotoperiode ikke vil være noe hinder for 2. billegenerasjon (Schroeder & Dalin 2016).

Å få ned «billetrykket» er særlig viktig etter store vindfellinginger av gran. Jo mer vindfall en kan bringe ut før en ny generasjon biller starter å klekke ut fra vindfallet, jo mer effekt har det. Rydding av vindfall i de to første årene kan under ellers billegunstige forhold være avgjørende for om det starter «selvgående utbrudd» eller ikke (Økland mfl. 2016). Å få ned «billetrykket» handler også om langsiktige skjøtselstiltak som bidrar til lav lokal barkbillepopulasjon og færre overvintrende biller. De viktigste bestandselementene for billeproduksjon er solvendte kantsoner av modne granbestand, mens de indre delene av skogbestandene ofte er for mørke og kjølige for granbarkbillen på våre breddegrader. Et vanlig forløp er at det oppstår vindfellinginger i kantsonen av hogstflater i tiden etter avvirkning. Vindfallene i slike kantsoner er velegnet for billeproduksjon, særlig der kantene er solvendte, og billeangrep på nye trær kommer oftest i nærheten av slike vindfall (Hedgren mfl. 2003). Om alle skogeiere innarbeidet en praksis med å rydde ut vindfall og nyangrepne trær i en 50-meters kantsoner rundt hogstflatene i de første 5 årene etter avvirkning, så kan dette få en betydelig effekt på å holde barkbillepopulasjonene lave.

Skogstruktur er sannsynligvis en viktig faktor for barkbilleutbrudd, men det er vanskelig å si med sikkerhet hvordan endret skogstruktur vil dempe «billetrykket» og sjansen for barkbilleutbrudd når de klimatiske forholdene ligger til rette for utbrudd. Både kortere rotasjonstid for granbestandene og skjøtsel som rettes mot å fjerne svekkete trær kan gi mindre tetthet av trær som er mottakelig for billeangrep. Det finnes studier som indikerer at innslag av bjørk kan dempe attraksjonen av barkbiller til grantrærne (Zhang & Schlyter 2004), men det er ikke fullt ut avklart om bestand av blandingsskog er mindre mottakelig for billeangrep enn rene granbestand (Kärvemo mfl. 2014). «Billetrykket» påvirkes av skogtilstanden over større områder, men en vet ikke nok om den relative betydningen av de ulike skogelementene, og hvilken romlig skala som er avgjørende. Det er fortsatt store kunnskapshull i sammenhengen mellom skogbruksplanlegging og risikoen for barkbilleutbrudd. Ny forskning på dette er imidlertid mulig med utgangspunkt i stadig bedre overvåkingsdata fra barkbilleovervåkingen og kartbaserte data med skogstruktur.

2.2.2.2.2 Rotkjuke

De alvorligste soppskadegjørerne i barskog er råtesopp. Rotkjukeåten er vår langt viktigste skogråte og spesielt skadelig hos gran: ved slutthogst er i gjennomsnitt hvert femte grantre infisert av rotkjuke (Huse mfl. 1994). I granskog på kalkrik mark kan frekvensen være over 60 % (Hietala mfl. 2016a). Det har blitt estimert at årlige tap pga. rotkjukeåte er på rundt 100 millioner kroner i Norge (Solheim og Stamnes, upubl.).

I Norge har vi to rotkjukearter som skiller seg fra hverandre i forhold til vertstre og utbredelsesområde. Granrotkjuke (*Heterobasidion parviporum*) går først og fremst på gran og er vanlig i hele det opprinnelige granskogsområdet fra Vest-Agder til Saltfjellet. Fururotkjuke (*H. annosum* sensu stricto) angriper både furu og gran, men også einer, bjørk og andre løvtre. Den er vanligst på Vestlandet nord til Nordmøre (Fjærli 2016), men fins også på Sørlandet og Østlandet. Fra infiserte granrøtter sprer disse rotkjukeartene seg fort til stammen hvor de forårsaker innrøt i kjerneved. Angrepne grantrær kan holde seg i live i mange tiår selv om råtekolonnen i stammen kan stige opp til 10-12 meter over bakken. Furu forsvarer seg mot angrep av fururotkjuke ved økt kvaeproduksjon i rotsystem og rothals, noe som forhindrer soppens spredning til stammen. Siden forsvarsresponsen også forhindrer vanntransporten, kan angripne trær dø innen noen få år. I Sentral- eller Sør-Europa fins det to andre rotkjukearter: edelgranrotkjuke (*H. abietinum*) og amerikansk fururotkjuke (*H. irregulare*) (EPPO 2015). Begge kan infisere gran og den sistnevnte også furu og løvtrær. Det er usikkert hvorvidt nåværende utbredelsesområder til rotkjukearter er bestemt av edafiske eller klimatiske faktorer, men en mulig følge av klimaendring er at fururotkjuke sprer videre nordover langs kysten i Norge og at granrotkjuka lettere kan spre seg nord for Saltfjellet. Det kan også være mulig at edelgranrotkjuke og amerikansk fururotkjuke kommer til landet.

Basert på spredningsbiologien til rotkjuke (figur 3), har man gode grunn til å forvente at en eventuell klimaendring vil øke videre omfanget til rotkjukeåte i Norge. Det faktum at rotkjukeåte er enda mer omfattende i varmere strøk som f.eks. i baltiske land støtter dette. Varmere somre med lengre vekstsesong gjør at perioden med høy sporeproduksjon og gode infeksjonsbetingelser blir lenger. Rotkjukearter har optimal vekst på 22-24°C, noe som gjenspeiles i at deres aktivitet i granas kjerneved, et vedlag varmeisoleret av bark og vanninnholdig yteved, er høyest i den varmeste perioden av sommer (Hietala mfl. 2015). En generell økning i lufttemperatur vil akselerere vednedbrytingen av rotkjuke både over og under bakken, noe som igjen resulterer i raskere spredning av råtesoppen både innen og mellom trær. I følge finske klimaendringsscenarier kan nedbrytingsaktiviteten til rotkjuke øke mer enn tilveksten pga. temperaturøkning i Sør-Finland (Müller mfl. 2012). Mildere vintre med lengre snøfrie perioder resulterer i økt smittefare også ved vinterhogst pga. utvidet sporuleringssesong til rotkjuke og pga. økt frekvens av sårskader forårsaket av maskinell drift på stammen og røtter til gjenstående trær ved tynninger. Økt stormaktivitet kan forventes i visse deler av landet og trær angrepet av råtesopp er spesielt mottakelig for vindskader. I Sverige har de estimert at opptil 60% av vindfelte trær i skog angrepet av rotkjuke skyldes råte (Oliva mfl. 2008). Om en ikke klarer

opprydding i slike bestand innen 2 år etter storm vil lokalt infeksjonstrykk av rotkjuke øke markant pga. oppformering av fruktlegermer i døde trær. Tiltak mot råte er omtalt i kap 3.5.5.



Figur 3. Skjematisk fremstilling av spredning av rotkjukearter på nåletrbestand (Asiegbu mfl. 2005). Mangeårige fruktlegermer, dannet ved basis av stammen eller på røttene til infiserte trær og stubber, produserer sporer når lufttemperatur er over 0°C. Sporene spres med vind og infiserer ferske stubbesnittflater og sårskader på stammen og røtter (røde piler) til levende trær. Etter sporespiring invaderer soppmycelet rotsystemet og sprer smitten videre på bestanden via rotkontakter mellom nærliggende trær. Desto høyere plantetetthet av mottakelig treslag er, jo forttere spres rotkjuke mellom trær via rotkontakter. I rotsystemet til stubber kan rotkjuke holde seg i live 30-40 år og rotkjukeråten kan holde seg i bestandet til neste generasjon så snart det dannes rotkontakter mellom infiserte stubber og mottakelige nye planter (Piri 2003). Smittespredning mellom tregenerasjoner gjør at uten kontrlltiltak blir angrepne bestand kronisk syke.

2.2.3 Skogbehandling

Klimaendringene gir først og fremst muligheter for økt produksjon, gitt at potensialet ivaretas på en god måte gjennom skogbehandlingen. Men det utfordrer også den kunnskapen vi har om skogbehandling som ofte er basert på eldre data for skogens vekst og utvikling – fra en tid da skogen vokste annerledes enn den gjør i dag. Det økonomiske bildet er imidlertid også viktig for hva som vil gi høyest mulig verdiproduksjon, og endres over tid. Samtidig vil risikobildet endres i et endret klima. Økonomisk maksimal verdiproduksjon må i noen tilfeller veies opp mot risiko for skader. Gjennom denne rapporten søker vi å belyse betydningen av ulike skjøtselstiltak på verdiproduksjonen, og behovet for tilpasninger til et endret klima både med hensyn på endret vekst og endret risikobilde.

3 Prioriterte skogbehandlingstema

3.2 Foryngelse

3.2.1 Foryngelsesform og oppfyllelse av foryngelsesplikten

Foryngelse danner grunnlaget for verdiproduksjonen, og er et sentralt skogskjøtselstiltak. De vanligste metodene for foryngelse av skog er planting, såing, eller naturlig foryngelse. I følge Resultatkontroll skogbruk/miljø for 2015 fordelte metodene seg slik på foryngelsesarealet: Planting 60 %, kombinasjon planting/naturlig 8 %, såing 0,4 % og naturlig foryngelse 22 %. Resten av arealet var ikke tilrettelagt for foryngelse (Granhus mfl. 2016).

Til sammenlikning benyttes planting på 63 % av foryngelsesarealet i Finland, såing på omtrent 17 %, mens 20 % forynges naturlig (Anon. 2014). I Sverige er de tilsvarende tallene 75, 5 og 18 % (Skogsstyrelsen 2014).

I Norge går det et nokså klart skille mellom hovedtreslagene når det gjelder foryngelsesform. Omtrent 85 % av granarealene forynges ved planting, eller ved en kombinasjon av planting og naturlig foryngelse (Granhus mfl. 2015). Snauhogst er den klart vanligste hogstformen i granskog, med 88 % av arealet. Andre hogstformer er småflate- og kanthogst, skjermstillinger eller selektive hogster, som gir større rom for bruk av naturlig foryngelse. Furu forynges i stor grad naturlig, ved hjelp av frøtrestillinger.

Etter et historisk lavt nivå på planting midt på 2000-tallet med bare ca. 20 mill. planter årlig på det laveste, har nivået nå økt til 35-40 mill. utsatte planter. Under 1 mill. av disse er furuplanter, resten er gran (Skogfrøverket 2017).

Alle skogeiere har i følge Forskrift om bærekraftig skogbruk (2006) plikt til å «gjennomføre nødvendige tiltak for å sikre tilfredsstillende forynging» i løpet av tre år etter hogst. Resultatkontrollen for 2015 viste at 62 % av foryngelsesarealet hadde en tetthet i henhold til anbefalingene eller høyere. For 14 % av arealet var plantetettheten under minste lovlig antall. Denne andelen var naturlig nok klart størst for arealet som ikke var tilrettelagt for foryngelse. Her hadde 2/3 av arealet for få planter. For planting, naturlig foryngelse eller en kombinasjon av metodene hadde 6-8 % av arealet et planteantall under minste lovlig. Fordi resultatkontrollen foretas tre år etter hogst, kan et lavt plantetall i en del tilfeller skyldes ventetid på naturlig foryngelse.

3.2.2 Markberedning

Markberedning gir mange fordeler ved foryngelse av skog:

- minsker konkurransen fra annen vegetasjon
- gir jevnere fuktighet
- øker jordtemperaturen, slik at rotveksten går fortere
- minsker frostfaren
- øker nedbrytingen av humus slik at næringstilgangen blir bedre
- gir et opphøyd plantepunkt på fuktig mark
- begrenser snutebilleskader

I sum skaper markberedning et bedre spiresubstrat ved naturlig foryngelse og såing, gir raskere etablering ved planting, bedrer overlevelsen og øker tilveksten. I tillegg går plantearbeidet lettere.

3.2.2.1 Bruken av markberedning

I følge Resultatkontrollen 2015 (Granhus mfl. 2016) ble markberedning brukt på 19 % av foryngelsesarealet. Der foryngelsesmetoden var planting ble tiltaket benyttet på 18 % av arealet, og 27 % der det var tilrettelagt for naturlig foryngelse. Det har vært en økning i bruken av markberedning de siste årene, blant annet knyttet til utarbeidelsen av en markberedningsstandard for innlandet (Øvergård 2014). I kontrollen for 2011 ble f.eks. kun 12 % av foryngelsesarealet markberedt. Tiltaket er mest utbredt i de tradisjonelle skogdistriktene, særlig i deler av Hedmark, som i dag står for drøyt 60 % av markberedningen i landet.

Til sammenlikning markberedes over 90 % av arealet som plantes til i Sverige (Skogsstyrelsen 2014).

3.2.2.2 Metoder

Markberedning kan utføres som flekk- eller furemarkberedning, hauglegging, eller etter invers-metoden. I sistnevnte tilfelle snus torva opp ned og legges tilbake i gropa. Det finnes mange forskjellige typer skålharver, flekkmarkberedere og andre aggregater på markedet. Hvilken metode som egner seg best, vil variere med foryngelsesmetode og forholdene på flata. Hauglegging og inversmetoden brukes først og fremst ved planting, mens furemarkberedning er aktuelt både ved planting og naturlig foryngelse.

Markberedningen går lettere dersom kvisten har fått tørke litt og blitt sprø. Et gunstig tidspunkt kan for eksempel være første høst etter hogst.

Markberedning er ferskvare, særlig på rike marktyper hvor ugrasvegetasjon raskt etablerer seg i flekken (Granhus og Fløistad 2010, Karlsson og Örlander 2000). Samtidig er det en fordel hvis jorda får satt seg litt før planting. Ved markberedning om høsten er påfølgende vår et godt plantetidspunkt. Dersom haugene komprimeres ved markberedningen kan planting skje umiddelbart.

Planting og markberedning må alltid sees i sammenheng. Dersom beskyttelse mot snutebiller er hovedårsaken til at man velger å markberede, er det viktig at plantemannskapet i størst mulig grad velger planteplasser som er dekket med rein mineraljord.

Markberedningsstandarden for innlandet (Øvergård 2014) og Skogkurs' resymé (Skogkurs 2014) gir ytterligere informasjon om metoder og utførelse.

3.2.2.3 Markberedning for naturlig foryngelse

For å bedre spireforholdene ved naturlig foryngelse og såing, er det nok med en grunn markberedning som fjerner humuslaget. En blanding av humus og mineraljord er en bra spireplass. En dyp markberedning vil blottlegge mer av rustjorda, som kan gi større fare for oppfrost for små spireplanter. Et forsøk med grunn flekkmarkberedning og invertering på åtte felter med blåbærmark på Østlandet (Hanssen mfl. 2003) viste for eksempel at etableringen av spireplanter var størst og etterfølgende avgang minst etter flekkmarkberedning. Uten markberedning var det svært få planter som etablerte seg.

Det er særlig behov for markberedning når råhumuslaget er tjukt og seigt, slik at spireplantene har vanskelig for å nå ned til mineraljorda. Dette gjelder for røsslyng-blokkebærskog, som ofte har et tjukt råhumuslag, men også blåbær- eller bærlyngskog, hvor humustjukkelsen kan variere mye. Lavskog har gjerne et tynnere humuslag, og foryngelsen kan der lettere lykkes uten markberedning.

3.2.2.4 Effekt på overlevelse etter planting

Norske studier viser at overlevelsen for granplanter øker med ca. 5-15 % etter markberedning (Bergan 1990, Brække mfl. 1986, Granhus mfl. 2003, Hine 1988, Kohmann 1999). Tilsvarende tall for svenske studier er 10-20 % for gran og ca. 20 % for furu (Ulf Sikström, Skogforsk, pers. medd). Særlig der snutebilletrykket er høyt kan man forvente god økning i overlevelsen etter markberedning.

Det finnes få norske studier som sammenlikner forskjellige markberedningsmetoder, men Granhus mfl. (2003) fant at avgangen etter seks år var noe lavere etter invertering (7 %) enn etter grunn flekkmarkberedning (10 %). Uten markberedning var avgangen 14 %.

Flere svenske studier viser at invertering og hauglegging er metoder som gir god overlevelse. For eksempel fant Johansson mfl. (2013) en overlevelse på 77 % ved invertering og 67 % ved hauglegging 18 år etter planting. Uten markberedning var overlevelsen 57 %. Örlander mfl. (1998) fant høy og god overlevelse etter både invertering (98 %), hauglegging (96 %) og stripeharving (95 %) sammenliknet med 70 % overlevelse for ubehandlet kontroll.

Markberedningsmetoden bør tilpasses til forholdene på flata. Ved planting på fuktig mark bør man bruke hauglegging eller andre metoder som gir et opphøyd plantepunkt. I jordtyper med høyt siltinnhold kan det være fare for oppfrost. Der har planting på omvendt torv (etter hauglegging eller furemarkberedning) vist seg å være en god metode (Sahlén og Goulet 2002).

3.2.2.5 Effekt på høydevekst

Markberedning har hatt en positiv effekt på høydetilveksten i norske studier. Middelhøyden er gjerne 10-50 % høyere etter tre til ti år (Bergan 1990, Brække mfl. 1986, Fløistad mfl. 2007, Granhus mfl. 2003, Hine 1988). Særlig der klimaforholdene er vanskelige, slik som i studien til Bergan fra Helgeland eller i Brækkes studie fra en frostutsatt flate på Østlandet, har markberedning gitt god effekt på høydeveksten.

I Sverige viser praktiske forsøk gjerne en økning i plantehøyde på ca. 20 % de første 5-25 årene (Ulf Sikström, pers.medd). Enkelte forsøk viser imidlertid langt høyere effekt enn dette, f.eks. Örlander mfl. (1998) hvor plantene etter harv-, haug- og inversmarkberedning var 150-200 cm høye ti år etter planting, mot 80 cm på kontrollflater. Johansson mfl. (2013) antyder at trærne på markberedte arealer i snitt har et forsprang på ~4 år etter 14 vekstsesonger. Det er stor forskjell mellom forskjellige studieområder, og forsøket antyder at effekten er større under dårligere vekstforhold (langt mot nord, høyereliggende, lav bonitet).

Ut fra de studiene som foreligger er det vanskelig å dra generelle konklusjoner om at noen metoder gir bedre effekt på tilveksten enn andre. Det er imidlertid en tendens til at mer intensive metoder gir noe bedre tilvekst.

Effekten på tilveksten har begrenset varighet. Etter noen år blir den like stor på markberedte som på ikke markberedte flater, men trærne på markberedt mark beholder gjerne det forspranget de opparbeidet seg i starten.

3.2.2.6 Lauvoppslag

Når det øverste jordlaget røres om og mineraljorda blir blottlagt, blir det også bedre forhold for naturlig foryngelse av andre treslag, slik som bjørk. Karlsson mfl. (2002) fant for eksempel at antall bjørkeplanter økte fra 300 til 1900 pr dekar etter hauglegging. Jo større del av jorda som forstyrres, desto flere planter får man vanligvis, selv om antall frøtrær, variasjoner i frøproduksjon, værforhold og jordas fuktighet også betyr mye for resultatet. Granhus og Fløistad (2010) fant for eksempel dobbelt så mange lauvtreplanter etter markberedning på fuktig blåbærmark som på normal eller tørr utforming av vegetasjonstypen. Det var langt flere naturlig foryngede bartreplanter enn lauvtreplanter pr dekar (2400 versus 990).

Et stort oppslag av lauv vil øke behovet for rydding og ungskogpleie, og dermed ha betydning for økonomien i foryngelseskjeden (Uotila mfl. 2010). Men riktig markberedning kan gi kulturplantene et såpass solid forsprang at lauvoppslaget ikke betyr så mye (Lehtosalo mfl. 2010). Det er også studier som viser mindre lauvoppslag etter markberedning (Karlsson og Nilsson 2005). Dette kan for eksempel skje hvis markberedningsaggregatet begraver frø, eller skader allerede etablerte lauvtreplanter.

3.2.2.7 Økonomi

Den økonomiske nytten av markberedning består i 1) at omløpstiden blir kortere, på grunn av raskere vekst i starten, 2) avgangen blir mindre (man kan plante færre planter), og 3) plantingen blir billigere. Skogkurs resymé nr. 9 (Skogkurs 2014) viser et regneeksempel med markberedning på G14-bonitet. Med 5 års kortere omløpstid, behov for 20 % færre planter og 50 øre billigere planting per plante blir avkastningen i dette tilfellet ca 4,5 %, når det benyttes skogfond og tilskudd til planting. Tiltaket er lønnsomt også uten skogfond og tilskudd.

Ut i fra et slikt regnestykke blir den økonomiske fordel av markberedning størst der effekten på overlevelse og tilvekst er best. Dette vil for eksempel gjelde områder med stor avgang på grunn av kraftig ugraskonkurranse eller snutebiller, eller der vanskelige klimaforhold begrenser veksten til plantene. Samtidig betyr logistikk og bestandsstruktur mye for kostnadene ved markberedning. Større foryngelsesarealer med kort avstand mellom feltene gir effektiv bruk av maskiner og lite flytting. I deler av landet gjør eiendoms- og bestandsstruktur derimot at tiltaket blir dyrt. I andre områder gjør bratt, lite framkommelig eller steinrikt terreng at markberedning ikke er aktuelt.

Også forhold senere i bestandsomløpet påvirker økonomien. Basert på et forsøk i Finland fant Uotila mfl. (2010) at hauglegging på sikt var et billigere tiltak enn furemarkberedning («disc trenching»), til tross for at hauglegging var dyrere å utføre. Dette skyldtes både at høydetilveksten ble bedre etter hauglegging, og at det ble mer lauvoppslag etter furemarkberedningen, noe som gjorde ungskogpleien mer kostbar. Denne analysen stopper imidlertid etter første tynning og tar således ikke hensyn til effekter på slutthogst og slutthogsttidspunkt. Raskere og sikrere etablering vil sammen med bedret vekst gjennom ungdomsfasen føre til tidligere hogstmodenhet.

3.2.2.8 Mulig effekt av klimaendringer

Økt lengde på vekstsesongen, høyere temperaturer og økt CO₂-innhold i lufta vil generelt føre til at veksten øker, både for skogplantene og de konkurrerende artene på plantefeltene. Det blir ikke mindre viktig å legge til rette for rask og god planteetablering i framtiden, slik at skogplantene motstår konkurransen fra annen vegetasjon og angrep fra snutebiller. Markberedning er et viktig tiltak for å oppnå dette.

En annen sannsynlig klimaendring er at det blir flere perioder med kraftig nedbør. Dette kan føre til økt avrenning fra blottlagt jord. Det blir derfor enda viktigere å gjøre markberedningen på riktig måte: legge furene på langs av høydekotene og benytte metoder som påvirker en mindre del av overflaten, slik som flekk- og hauglegging, innersmarkberedning eller furemarkberedning med opphold mellom langflekken. Å unngå sammenhengende furer over 10 m ved erosjonsfare er nedfelt i Norsk PEFC Skogstandard.

3.2.2.9 Mål

I dag setter manglende tradisjoner, kunnskap og tilgang på utstyr skranker for bruken av markberedning. At arealandelen som markberedes er på vei opp, er positivt, og viser at slike skranker kan overkommes. Men også norsk topografi og jordsmonn gjør at det neppe er verken økonomisk ønskelig eller praktisk mulig å komme opp i en så stor andel med markberedning som i Sverige. Det trengs mer inngående analyser for å bestemme hvor stor andel markberedt areal som bør være målet.

3.2.2.10 Kunnskapshull

Vi mangler kunnskap om effekten av markberedning på tjukk organisk jord (brunjord, torvmark) eller steinrik jord. Vi vet også lite om hvordan markberedning påvirker lauvoppslaget på forskjellige jordtyper. Mer kunnskap om effekt av invertering (og generelt av forskjellige markberedningsmetoder) på forskjellige jordtyper/geografiske områder er også ønskelig, samt kunnskap om økonomien ved markberedning som tiltak. Vi har per i dag ikke nok kunnskap til å kunne si noe om hvilke metoder/teknologi som skal anvendes under ulike forhold for å få best mulig totaløkonomi.

3.2.3 Kjemisk ugraskontroll på foryngelsesfelt i skog

Etter hogst på de frodigste vegetasjonstypene vil lys- og næringstilgang føre til et raskt oppslag av gras, urter og lauvvegetasjon. På felter med svært frodig og konkurransesterk vegetasjon kan sprøyting med ugrasmidler være en metode for å sikre kulturplantene gode etableringsvilkår (Lund-Høie 1984). Behovet for vegetasjonskontroll kan også reduseres ved rask planting etter hogst, bruk av markberedning (se kap 3.2.2) og kraftige plantetyper (se kapittel 3.2.4).

Konkurrerende vegetasjon på planteplassen fører til både redusert vekst og avgang. I følge resultatkontroll Skogbruk/Miljø er vegetasjonskonkurranse årsak til nesten 15 % av avgangen i foryngelsesfelt (Granhus mfl. 2016). I henhold til Norsk PEFC Skogstandard skal sprøyting ikke skje på vegetasjon som i gjennomsnitt er mer enn 2 meter høy. I Sverige anvendes i praksis ikke sprøyting mot lauvvegetasjon, men sprøyting mot gras og urter er tillatt også på skogsmark.

Bruk av plantevernmidler i skog reguleres for øvrig av Forskrift om plantevernmidler fra 2015 (lovdata.no). Før sprøyting med bruk av traktormontert spredeutstyr eller lignende på felt større enn 15 dekar må det søkes til Mattilsynet. På felt mindre enn 15 dekar hvor det spres plantevernmidler med motorisert spredeutstyr som skal det sendes melding til Mattilsynet etter gjennomført sprøyting. Ved bruk av håndholdt eller ryggbåret spredeutstyr er det ikke søknads- eller meldeplikt. For eventuell bruk av helikopter for sprøyting i skog må det søkes kommunen spesielt i hvert enkelt tilfelle, og bruken skal da vurderes opp mot alternative metoder og ulemper for helse og miljø mv.

Det er per i dag bare glyfosat-holdige preparater som er godkjent for bruk mot uønsket vegetasjon i skog. I 2016 ble det sprøytet på 4391 dekar i skog (SSB 2017). Dette er en nedgang på mer enn 90% siden 1990 (Fløistad mfl. 2009). Etter at gran har avsluttet strekningsveksten har plantene toleranse for en viss dose glyfosat (Lund-Høie 1976). Det er flere ulike handelspreparater med glyfosat som virksomt stoff, men med ulike tilsetningsstoffer (plantevernguiden.no). Det er derfor ikke alle glyfosat-preparater som er testet for toleranse på gran og det er viktig å sjekke etiketten før bruk. Ved all bruk av plantevernmidler er det viktig å sprøyte på rett tidspunkt og slik at preparatet virker best mulig på skadegjøreren. På spesielt frodige vegetasjonstyper hvor en kan forutse at feltet raskt vil gro til etter hogst, vil best effekt oppnås ved sprøyting før planting. Da kan en sprøyte på det mest effektive tidspunktet (juli-august), uavhengig av granas strekningsvekst.

Rødhyll er eksempel på en art som vokser raskt opp etter spiring, og etablerte planter kan ha en skuddvekst på et par meter i løpet av en sesong. Spesielt ved foryngelse av skog på gode boniteter kan det være behov for å gjennomføre effektive tiltak for å redusere konkurranse fra rødhyll. Dersom det allerede er rødhyllplanter på en foryngelsesflate, bør bekjempelsestiltak skje før tilplanting med gran. Eventuell sprøyting kan da skje uten fare for sviskader på granplantene. Det kan plantes allerede dagen etter sprøyting, men for best effekt er det best å vente omlag en uke.

På tilplantede foryngelsesflater med gran kan sprøyting gjennomføres etter vekstavslutning, oftest fra midten av august, men dette varierer i forhold til provenienser og klimatiske forhold. Med endrede klimaforhold vil vekstavslutning hos gran kunne bli senere, og anbefalt tidspunktet for sprøyting må forskyves tilsvarende. Dette kan føre til at det blir dårligere effekt av sprøytingen hvis de uønskede artene ikke lenger er i god vekst.

For optimal effekt på uønskede arter er glyfosat avhengig av god væsketransport i plantene. Lengre tørkeperioder fører til at planteveksten stopper opp. Da vil heller ikke glyfosat transporteres like effektivt, og virkningen av sprøytingen kan bli dårligere enn i perioder med god plantevekst. På spesielt varme sommerdager kan også noe av sprøytevæsken fordampe fra bladoverflaten, og både opptak og transport av glyfosat i plantene blir da dårligere. For arter som avslutter veksten tidlig, for eksempel rødhyll, er det viktig at sprøytingen ikke skjer for langt ut på høsten dersom tiltaket skal ha ønsket effekt. Punktspøyting på rødhyll og andre problemarter kan være aktuelt. Sprøyting med de

dosene som grana tåler vil ikke ta fullstendig knekken på rødhyll, men vil være tilstrekkelig til å gi granplantene et nødvendig forsprang (Fløistad mfl. 2014).

Å kappe ned etablerte og store planter for senere sprøyting på gjenveksten kan også være aktuelt. Rødhyll bør kappes vinterstid/tidlig vår for å hindre frøspredning. På grunn av rask gjenvekst etter nedkapping (Jenssen 2015), bør eventuell sprøyting skje samme vekstsesong som nedkapping, men etter granas vekstavslutning hvis feltet er tilplantet.

3.2.3.1 Kunnskapshull/utfordringer

Forekomst og omfang av rødhyll ser ut til å ha økt mye de senere årene (Fløistad mfl. 2014). Også andre svartelista plantearter som for eksempel kjempespringfrø etablerer seg på foryngelsesfelt i skog. Dette gir et økt behov for kunnskap om tiltak retta spesielt mot disse artene. Den store nedgangen i omfang av sprøyting i skog tilsier også et behov for utvikling av metodikk og gode strategier for ikke-kjemisk vegetasjonskontroll i skog.

3.2.4 Plantetype: ett- og toårig, M95, M60

Dagens planteproduksjon i Norge skjer i all hovedsak som ett- eller toårig produksjon i pottebrett av typen M95 (rotvolum 50 cm³; 791 planter m⁻²) eller M60 (rotvolum 75 cm³; 500 planter m⁻²). I Sverige har det vært utviklet et stort antall forskjellige pottbrett med en dyrkingstetthet som varierer fra 300-900 planter m⁻². I tillegg foregår det i Sverige fremdeles noe barrotproduksjon, hovedsakelig med tanke på foryngelse på de mest frodige områdene i Sør-Sverige. For gran er fordelingen mellom de ulike plantetyperne 18-20 % ettårige M95-planter; 8-10% toårige M60-planter og resten, ca 70-75 % er toårige M95-planter (skogfroverket.no). Furu produserer kun som ettårige planter på grunn av risiko for rotsnurr. Det plantes lite furu i Norge, kun 1-2 % av totalt utsatte planter er furu. Antall produksjonssteder for skogplanter i Norge er mer enn halvert de siste 15 årene. Dette har medvirket til et behov for effektiv utnyttelse av dyrkingsarealene, og utviklingen går i retning av et dyrkingssystem med mikroplanter som etter noen uker prikles om i pottebrettet hvor resten av produksjonstiden foregår.

God plantekvalitet er en forutsetning for tilfredsstillende etablering (Grossnickle 2000).

Dyrkingsteknikk og rutiner i planteskolene påvirker plantekvaliteten (Koller 2017). For å sikre at plantene har tilstrekkelig frostherdighet ved høstplanting blir plantene kortdagsbehandlet, det vil si at daglengden kortes inn og plantene avslutter strekningsveksten tidligere enn de ellers ville ha gjort. Dette er derfor også en metode som kan brukes for å kontrollere plantenes totale lengde (Fløistad og Granhus 2013). Utfordringene er å tilpasse tidspunkt og lengde på kortdagsbehandlingen slik at høstskudd samtidig unngås.

Men også mellomlagring og transport frem til planteplassen er, sammen med godt utført planting, viktige faktorer for å sikre god plantekvalitet. Planterens etableringsevne påvirkes både av forholdene på planteplassen og planterens vitalitet. Jo mer krevende etableringsvilkår jo viktigere er valg av planter med god kvalitet. Norsk PEFC Skogstandard slår fast at grandominert skog normalt forynges med flatehogst og planting, da dette vanligvis vil gi best økonomi og høyest skogproduksjon. Dette gir også utfordringer, spesielt med hensyn på gransnutebiller og vegetasjonskonkurranse.

Både dyrkingstetthet og dyrkingstid påvirker plantestørrelsen. Det har vært gjennomført et stort antall forsøk for å sammenligne ulike plantetyper med hensyn på etableringsevne, vekst og overlevelse (Grossnickle og El-Kassaby 2016; Johansson m fl 2015; Mattson 1997). Resultatene varierer i forhold til hva som er hovedutfordringer på foryngelsesfeltet. Valg av plantetype bør derfor ideelt sett baseres på den største utfordringen planten vil møte etter utplanting (Grossnickle og El-Kassaby 2016; Simpson og Ritchie 1997) og hvilke andre skogskjøtselstiltak som gjennomføres (eksempelvis markberedning). Ettårige planter (for eksempel M95) har et ungt og vitalt rotsystem og kan være et

førstevalg der det markberedes før planting (Fløistad mfl. 2007), mens større planter (M60) vil ha et større potensiale for overlevelse der det forventes stor konkurranse fra annen vegetasjon. Ingen av pluggplantetypene som er vanlige til foryngelse av skog i dag har en stor nok rothalsdiameter til å være sikker mot skader av snutebiller (8-10 mm i følge Thorsén mfl. 2001), men større og vitale planter vil bedre tåle skader.

3.2.4.1 Kunnskapshull/utfordringer

Resultatkontroll skogbruk/miljø identifiserer konkurrerende vegetasjon og insekter (snutebiller) som hovedårsaker til avgang i plantefelt. Kraftige planter med godt topp/rot forhold og størst mulig rothalsdiameter vil bedre etableringsvilkårene. Det må derfor være en målsetting å jobbe mot kontinuerlig forbedring av rutiner i dyrkingsfasen for å oppnå dette.

Et ønske om å strekke plantesesongen lengst mulig og også et ønske om å ha mest mulig høstplanting tidlig av hensyn til snutebilleskader, gir utfordringer i forhold til hvilket tidspunkt plantene er leveringsklare fra planteskolene. Planter tåler mindre håndtering og mellomlagring ved høstlevering, spesielt tidlig høstlevering, og det er behov for mer kunnskap om plantenes toleranse i denne fasen og hvordan toleransen kan økes.

3.2.5 Valg av plantemateriale

God klimatilpasning er grunnleggende for skogens evne til å utnytte markas produksjonspotensiale. Skogen skal tåle store miljøsvingninger, og stress under ekstreme værforhold, og samtidig utnytte vekstsesongen best mulig. Våre skogplanters tilpasning til vekstsesongen, vekststart om våren og vekstavslutning på høsten, er regulert av temperatur- og fotoperiode (Dormling 1977). Tilpasningen er utviklet gjennom mange generasjoners naturlig utvalg etter klimatiske påkjenninger og konkurranse, men hos treslag med stor sammenhengende utbredelse er det allikevel liten grad av helt lokal tilpasning. Derimot følger tilpasningen de store geografiske gradientene fra sør til nord og fra lavlandet til høyereliggende strøk (Dæhlen m.fl. 1995). Granas evne til å tilpasse seg er nok også i betydelig grad påvirket av epigenetiske mekanismer (Carneros m.fl. 2017; Johnsen m.fl. 2005a; Johnsen m.fl. 2005b; Johnsen m.fl. 2009; Kvaalen and Johnsen 2008) gjennom signaler plantene mottar allerede mens embryoet utvikles i frøet. Denne tilpasningen gir økt fenotypisk plastisitet som også vil motvirke spesifikk genetisk tilpasning lokalt. Det samme vil stor migrasjon gjennom vindpollinering.

For gran er det først og fremst i etableringsfasen, de 3-5 første årene etter utplanting, en kan risikere betydelige klimaskader i foryngelser. Det viser seg at disse ofte er knyttet til episoder med vårfrost rett etter at strekningsveksten har startet (f. eks. Skrøppa and Steffenrem 2015), eller vinterskader som en slitasje eller uttørking der snødekket er tynt (f. eks. Rolandsen 2015). De siste par tiårene er det imidlertid også rapportert om en del toppskader i form av dobbelttopp på godt etablert ungskog i lavlandet på Østlandet og i Trøndelag. Mange av disse skadene skyldes nok såkalte «høstskudd» som oppstår når grana starter en ny strekningssyklus sent på sommeren (Søgaard m.fl. 2010; Skrøppa og Steffenrem 2017). Høstskudd gir økt risiko for dobbelttopp med påfølgende gankvist og feil i skurtømmer. Furu, er et pionertreslag godt tilpasset store, åpne – og frostutsatte - områder, er herdig mot skader relatert til frost.

I store deler av Norden vil forventede klimaendringer gi lengre vekstsesong og økt potensiale for skogproduksjon. Det er viktig at plantene vi bruker er tilpasset dette for at potensialet skal utnyttes uten at risikoen for skader øker (Haapanen m.fl. 2015). Siden vekststarten hos gran hovedsakelig er regulert av temperatur, vil tidligere vår framskynde tidspunktet for vekststart og gi økt risiko for frostskaader i granforyngelser på åpne flater der de klare kalde nettene, med høy utstråling og nedkjøling, fortsatt vil være like lange også i framtiden (Langvall 2011). Samtidig er vekstavslutningen viktig for materialenes evne til å utnytte vekstsesongen (Skrøppa og Magnussen 1993) og unngå

høstskudd (Skrøppa og Steffenrem 2017). I framtiden ønsker vi ikke å bruke plantematerialer som avslutter strekningsveksten for tidlig da store deler av vekstsesongen ikke blir utnyttet. Med store klimavariasjoner og usikre prognoser vil uansett plantematerialenes robusthet (fenotypiske plastisitet) bli satt på prøve. Foredlingsprogram som skal utvikle materialer for framtiden må derfor teste disse i mange miljøer slik at vi finner de materialene som er best til å tilpasse seg, og utnytte, varierende miljøforhold.

Ved foryngelser kan skogeier velge mellom forskjellige plantematerialer fra bestands- eller frøplantasjefrø. Ved bruk av 1. generasjons frøplantasjefrø i granforyngelser vil en kunne forvente 10 – 15 % økt tilvekst som følge av det genetiske utvalget som ble gjort i foredlingsprogrammet som etablerte frøplantasjene. Framover vil vi få økt tilbudet på frø fra frøplantasjer etablert etter testing gjennom første foredlingssyklus (1 ½ generasjon). Vi må kunne forvente at disse gir 3-5 % høyere tilvekst enn de eldre frøplantasjene. Foredlede plantematerialer utgjør nå ca ¾-deler av det totale plantetallet for gran i Norge.

I Norge har furu tradisjonelt blitt naturlig forynget etter hogst. Til planting er det blitt brukt bestandsfrø. Foredlingsprogrammet har derfor vært nedprioritert slik at det bare er i Trøndelag vi kan bruke norsk foredlet frø nå. Endringer i foryngelsespraksisen bidrar imidlertid til at det nå er økt etterspørsel etter foredlet furufrø også på Østlandet og det er ønskelig å starte foredlingsaktiviteten raskt igjen. På kort sikt må vi imidlertid dekke behovet for foredlet frø gjennom import. Vi må derfor identifisere frøplantasjer i Sverige og Finland som kan brukes i Norge.

Skogfrøverket (www.skogfroverket.no) gir anbefalinger for valg av plantemateriale ut fra genetisk opphav, frøplantasjenes beliggenhet, erfaringer fra forsøk og regler gitt i Forskrift om skogfrø og skogplanter. I tillegg må skogeier vurdere plantelokalitetens frostrisiko som er svært viktig for valg av rett plantemateriale. Nylig er kunnskapsgrunnlaget om proveniensbruk for gran og furu oppsummert i Skrøppa m. fl. (2015).

Dagens veiledning for bruk av plantematerialer er nok noe statisk i forhold til de store klimaendringene vi må forvente. En viktig oppgave framover blir derfor å etablere bedre kunnskap om plantematerialenes respons på klimatisk variasjon gjennom testing av plantemateriale fra frøplantasjer og vanlig bestandsfrø etter hvert som nye frøpartier blir tilgjengelige. Standardisert testing vil gi kunnskap slik at vi kan utvikle bedre veiledningsverktøy for skogbruket. I Sverige har man utviklet et interessant veiledningsverktøy for valg av furumateriale i «Plantval» (www.skogforsk.se) basert på klima-respons funksjoner for plantematerialer med forskjellig opphav (Berlin m.fl. 2016). NIBIO og Skogfrøverket arbeider nå, sammen med Skogforsk (Sverige) og Luke (Finland), med å utvikle slike verktøy for gran. Slike funksjoner vil gjøre rådgivingen mer presis slik at effekten av skogplanteforedlingen blir utnyttet optimalt.

3.2.6 Plantetetthet

Plantetettheten betyr mye for valgmulighetene man har seinere i omløpet, og må sees i sammenheng med blant annet ungskogpleie og utgangstettheten etter denne. I det følgende diskuteres likevel hvordan plantetettheten som enkelttiltak påvirker produksjonen.

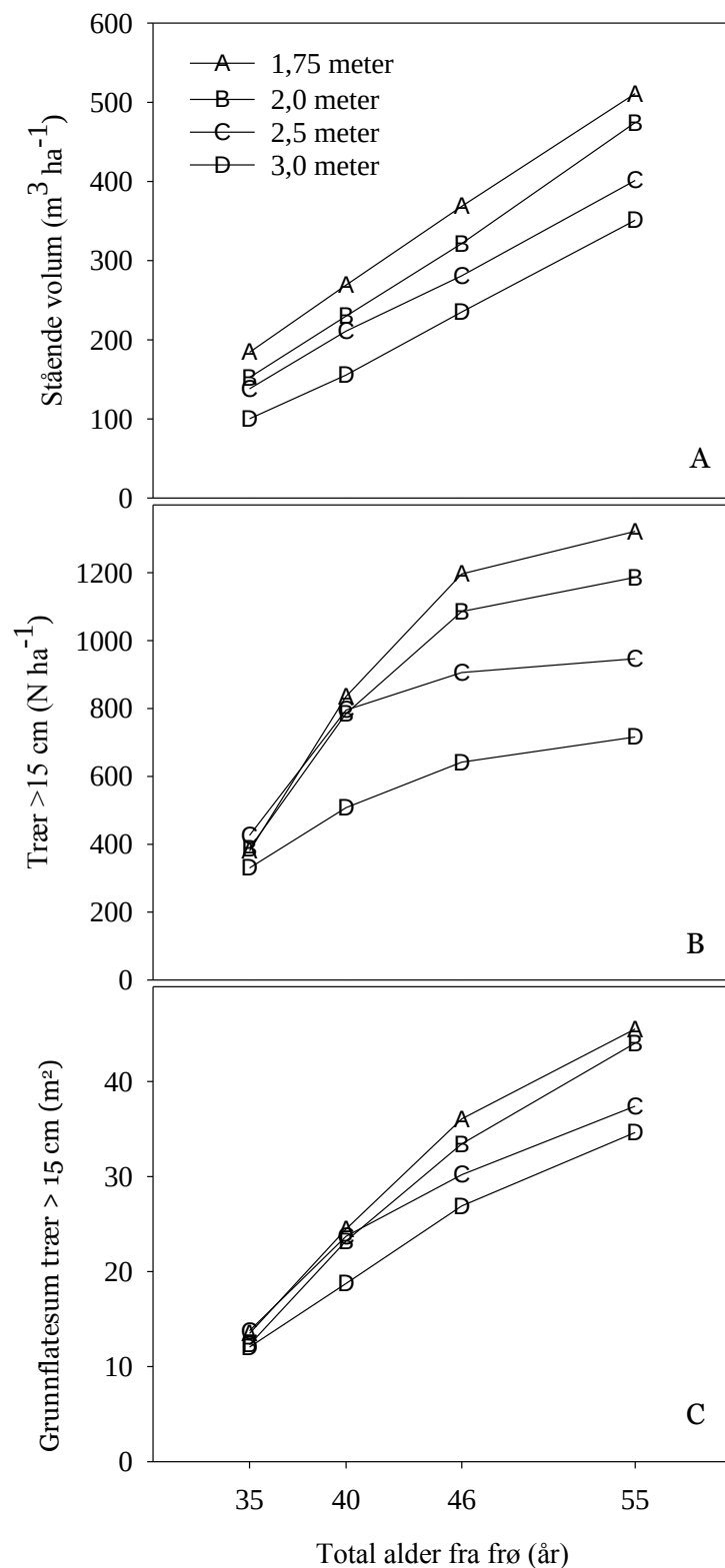
Plantetettheten påvirker flere egenskaper både hos det enkelte tre og i bestandet som helhet. Det finnes derfor en ganske omfattende litteratur med resultater fra planteforbandsforsøk i bartrær i Europa og Nord-Amerika som er direkte relevant for norske forhold. Hamilton og Christi (1974) sin sammenfattende analyse av flere forsøksserier på de britiske øyer omfatter så mange forsøk at det er verdt å ta med noen resultater fra norsk gran. Forband (planteavstand) som ble prøvd var 0,9, 1,37, 1,8 og 2,4 meter. Ved ti meters høyde var mortaliteten henholdsvis førtifem, trettiåtte, femten og og sju prosent. De fant også en viss effekt på overhøyden, den var litt lavere i det tetteste forbandet, noe som kan forklares med konkurransen. Men den var enda litt lavere i de glisneste forbandet som trolig

skyldes at vindbelastningen på det enkelte tre øker med økende forband. Fra Hamilton og Christie (1987) sin framstilling av overlevelsen i forhold til overhøyden går det fram at en ved tyve meters høyde skulle kunne ha ca 3800 trær per hektar, det vil si en gjennomsnittsavstand på 1,6 meter tilsvarende ca åtte i S-prosent. Ved denne overhøyden ville forband 1,8 meter ha en grunnflatesum på ca 70 m² per hektar, mot ca 60 i forband 2,4 meter. Det generelle bildet er at totalproduksjonen øker med tettere forband, men avgangen øker også, og volumet av det enkelte tre minker.

Etableringskostnaden faller med økende forband, men det gjør også kvaliteten fordi kvisten blir grøvre og veden får lavere densitet. Å finne fram til riktig plantetthet er derfor et optimaliseringsproblem hvor optimum vil variere avhengig av de biologiske produksjonsforholdene, men også av hvordan tømmerkvalitet og dimensjon premieres, samt driftskostnadenes variasjon med tømmerdimensjonen. Kalkulasjonsrenten er selvsagt også viktig. Flere av disse faktorene har variert over tid slik at det er neppe mulig å finne et absolutt optimum. En må snarere søke å finne et område for plantetall der sjansen for å gjøre store feil i noen retning er liten. NIBIO har hatt, og har, flere forbandsforsøk som kan si noe om hva som bør være yttergrensene for plantetall under våre forhold. Forsøkene har noe varierende design, og noen har få gjentak slik at resultatene blir usikre.

Braastad (1970), Handler (1998, 1990) og Øyen (2001) har tidligere rapportert fra noen av forsøkene. Tall for totalproduksjon, stående volum, tilvekst og diameterfordeling ved siste revisjon er fritt tilgjengelig på <http://www.skogforsk.no/feltforsok>. Det er også laget en modell for grunnflate og volum av stående trær basert på flere av forsøkene (Gizachew m.fl. 2012). Men disse modellene forutsetter at uansett plantetall vil et bestand på en gitt bonitet alltid nå den samme maksimale grunnflate eller stående volum. Det er neppe en rimelig forutsetning.

Ett av forsøkene, 0927 i Vardal, har overhøyde på ca 23 meter og nærmer seg hogstmoden alder. Det kan brukes som et eksempel på hvordan volumproduksjon og nyttbart volum varierer med planteavstanden på god mark. Figur 4A viser utvikling i stående volum for forband 1,75, 2, 2,5 og 3 meter (tilsvarende en plantetetthet på henholdsvis 325, 250, 160 og 110 planter pr dekar). Forband 1,25 og 1,5 meter er utelatt fra figuren fordi volumet der ikke er høyere enn i forband 1,75 meter og fordi så tett planting neppe er aktuelt noen steder i dag. Vi ser at stående volum er klart størst i tetteste forband og at 3 meter-forbandet ikke har tatt igjen volumet i de tettere forbandene selv om bestandet snart er økonomisk hogstmodent. Figur 4B viser utvikling i tallet på trær som er over 15 cm i brysthøyde, det vil si trær som potensielt kan gi en eller flere skurstokker. I figur 4C er det vist grunnflatesum av trær større enn 15 cm. Forband 2 meter har ca 15 prosent høyere grunnflatesum blant trær som kan gi sagtømmer enn forband 2,5 meter. Fordi forband 2 meter har flere trær som vil nå denne dimensjonsgrensen vil denne forskjellen øke fram til bestandet skal hogges. Den generelle lærdommen er at når en reduserer plantetallet for å øke middeldimensjonen så går den totale sagtømmermengden ned, selv om sagtømmerprosenten går noe opp.

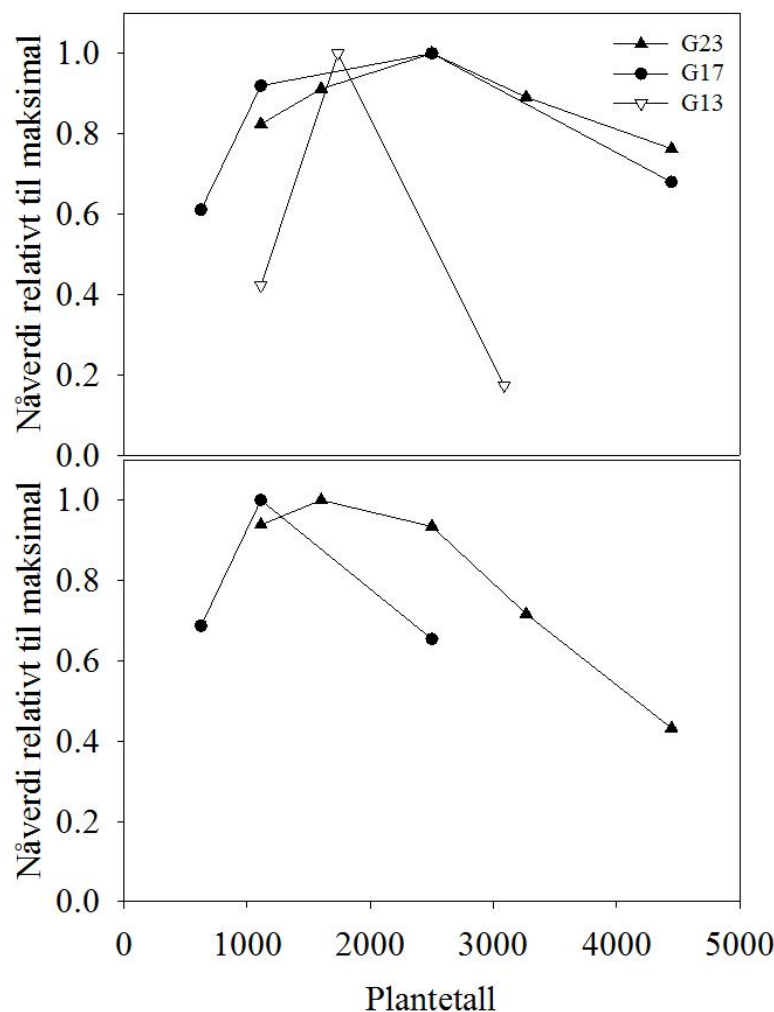


Figur 4. Resultater fra forbandsforsøk i Vardal (felt 0927). Utvikling i stående volum (A), antall trær som er over 15 cm i brysthøyde (B) og grunnflatesum av trær større enn 15 cm (C).

Når det gjelder plantetall og stabilitet er det behandlet sammen med tetthet og stabilitet i kapittel 3.4.3.

For å beregne den økonomiske nytten av ulike planteforband er det her gjort en foreløpig analyse på grunnlag av data fra siste revisjon av forsøk 927 i Gjøvik, 1118 i Ringeby og 936 i Namdalseid (Figur 5). Disse er framskrevet til 110 års alder ved bruk av ulike modeller, og deretter er det funnet det hogsttidspunkt som gir maksimal nåverdi for ulike forband i hvert forsøk. Grunnflatetilvekst er beregnet etter Andreassen, Eid og Tomter (2008), da denne gir best samsvar med observert tilvekst i ulike forband. Andre funksjoner er: avgang (Eid og Øyen 2003), overhøyde (Tveite 1977) og grunnflatevid middelhøyde (Tveite 1967), samt diameter og høydefordeling (Vestjordet 1972). Deretter er det beregnet bruttoverdi innen hver diameterklasse ved bruk av Finstad (2002) sin funksjon for råtefritt tømmer, med basispris 460 kroner per kubikkmeter for sagtømmer og 210 kroner for massevirke. Det er trukket fra fem kroner per kubikkmeter i måleavgift. For hogst og kjørekostnader er det brukt funksjoner fra henholdsvis Nurminen m.fl. (2006) og Samset (1995) med timepriser på 1400 og 1200 kroner for hogstmaskin og lastetraktor. Kalkulasjonsrenten er satt til 3 prosent. Med disse forutsetningene er det regnet en nåverdi med skogfond, som forutsettes å halvere plantekostnaden, og tilskudd til tettere planting. Det er også beregnet nåverdi uten skogfond og tilskudd.

Øvre del av figur 5 viser nåverdien relativt til det forband som gir maksimal nåverdi, nedre del viser tilsvarende, men uten tilskudd. Vi ser at med skogfond og tilskudd gir plantall fra 1600 størst nåverdi, selv for forsøket med bonitet G13 som ligger 820 meter over havet. For skog av høyere bonitet gir plantetall kring 2500 høyest nåverdi med skogfond og tilskudd. Uten skogfond og tilskudd blir nåverdien negativ ved 3 prosent rente for skog av lav bonitet, mens optimalt plantall forskyves nedover mot 1100 for G17 og 1600 for G23.



Figur 5. Maksimal nåverdi, relativt til den høyeste i forsøket, ved 3 prosent rente for ulike planteforband i et forsøk på høy (G23), middels (G17) og lav (G13) bonitet. Øvre figur er regnet med skogfond og tilskudd til tettere planting, nedre uten skogfond og tilskudd. G13 mangler i nedre figur fordi nåverdien er negativ for alle forband. Modeller og forutsetninger er beskrevet i teksten.

Disse forsøkene ligger henholdsvis 480, 820 og 140 meter over havet og har bonitet G23, G13 og G17. De skulle således være representative for en stor del av norsk skog. Unntaket kan være skogsmark der vanntilgangen er dårlig. På slik mark må en regne med at diametertilveksten i tette plantinger blir svakere enn her, slik at optimalt plantetall forskyves nedover. Det må bemerkes at disse forbandsforsøkene er plantet med bestandsfrø. Dermed er de ikke representative for foredlet materiale, som nå er tatt i bruk over store deler av landet. Selv om tørkesvak mark kan være et unntak, og andre funksjoner kan gi litt andre optima, tilsier nåverdiberegningene fra observert og framskrevet tilvekst fra disse forsøkene at en i regelen vil være nær den maksimale nåverdien dersom en planter i samsvar med kravene for å få tilskudd til tettere planting, og nytter skogfond og tilskudd når kalkulasjonsrenten er på nivå med forventet avkastning for Statens Pensjonsfond Utland.

Konklusjon

Under de fleste forhold vil en få et godt resultat når en planter i samsvar med kravene for å få statstilskudd til tettere planting (Tabell 1). Det er tilstrekkelig tett til å få høy produksjon og mange trær med høy kvalitet, og gir nær maksimal nåverdi av tiltaket. Samtidig er det ikke så tett at faren for skader av snø- og vindbrekk øker mye. Se for øvrig kapittel 3.4.3. for diskusjon av tetthet og bestandspleie i vindutsatte bestand.

Tabell 1. Krav til minimum utplantingstall for tilskudd ved planting (gjelder alle treslag). Landbruksdirektoratet.no.

Bonitet	Minimum plantetall pr. dekar	Intervall for plantetall som utløser tilskudd (inntil 50 planter/daa etter oppfylt minimumskrav)
26	220	220- 270
23	220	220- 270
20	200	200- 250
17	180	180- 230
14	160	160- 210
11	130	130- 180
8	100	100-150

3.2.7 Gransnutebiller

3.2.7.1 Skadeomfang

Gransnutebiller kan gjøre stor skade i plantefelt ved at de gnager barken av nyplantede gran- og furuplanter. Snutebillene invaderer ferske hogstfelt for å legge egg i barken på stubbenes røtter, og de voksne billene gjør næringsgnag, særlig vår og høst. Skadde planter settes tilbake i vekst, eller dør. Billene er gjerne et problem de første 3-4 årene etter hogst.

Skadeomfanget kan variere mye fra flate til flate. Undersøkelser av omtrent 200 ett- og toårige plantefelt i 2009-2011 viste at en fjerdedel av plantene hadde snutebillegnag (Hanssen 2010, 2012). Avgangen på grunn av snutebiller varierte mellom 0 og 98 %, og var i snitt på 9 %. Dette tallet må sees på som et minimumsestimat.

Billene svermer på varme dager om våren, og tilfeldige faktorer som vindretning og avstand og retning til ferske hogstflater under svermingen betyr mye for hvilke flater som får besøk av billene. Det har derfor vist seg vanskelig å finne andre faktorer som med en viss grad av sikkerhet kan forklare hvorfor noen felt får skader, og andre ikke. Det man vet er at skadene gjerne er størst i lavlandet, og i sør. Dette har sammenheng med klimatiske faktorer – i varmt klima går utviklingen av billenes egg og larver raskere, og overlevelsen blir større. Tørre områder får mer skader enn fuktige, og planter satt ned i brannområder kan få store skader fordi det der er få alternative matkilder for billene. I tillegg kan

aktive skjøtselstiltak, plantenes alder og rothalsdiameter og forskjellige former for plantebeskyttelse påvirke graden av skader.

3.2.7.2 Tiltak mot billene

Det finnes i dag ingen enkelt metode som har 100 % effekt mot snutebillene. Men det har vist seg at mange tiltak samtidig kan ha en additiv effekt mot billene – jo flere tiltak man bruker, jo bedre blir resultatet (Petersson og Örlander 2003).

Markberedning har vist seg å ha god effekt mot snutebiller, særlig når plantene settes i rein mineraljord (Petersson mfl. 2005). Billene liker ikke å oppholde seg lenge på mineraljorda, antagelig fordi de ikke finner skjul mot fiender som mus eller fugl. Det er en positiv effekt av så lite som 5 cm med mineraljord rundt planten, men i praksis bør flekken være minst 20 x 20 cm. Dette er fordi effekten blir mindre når gras annen vegetasjon etablerer seg i flekken eller legger seg over den markberedte overflaten. Se kap. 3.2.2. for mer diskusjon av markberedning.

Skjermstilling kan virke effektivt mot snutebilleskader (von Sydow og Örlander 1994). For å oppnå en god effekt bør skjermtettheten være minst 10-15 trær pr dekar. Effekten skyldes først og fremst at bark på røtter og krone hos skjermtrærne er en matkilde for billene, og at det under en skjerm blir mer vegetasjon på bakken som også kan være alternativ føde. Tilsvarende finner man mindre skader på plantene nær kanten av hogstflata, der tilgangen på annen føde er bedre. Små hogstflater og riktig arrondering av flatene kan dermed også være med å begrense skadene. Se kap. 3.7.1. for mer diskusjon om hogstform.

Plantetid kan påvirke skadeomfanget. De største skadene oppstår gjerne på våren/forsommeren de første tre sesongene etter hogst, og den andre høsten. Dersom man venter med å plante til etter at billene har svermet fra flata, vanligvis tredje vår etter hogst, vil skadene gå ned (Nordlander mfl. 2017). Plantingen bør da skje etter midten av juni det tredje året. En annen og tidligere «luke» kan være å plante om høsten (fra rundt slutten av august) første sesong etter hogst. Hvis plantene får anledning til å etablere seg i denne perioden med relativt lav snutebilleaktivitet, kan de de klare seg bedre neste sesong enn hvis de plantes på våren andre sesong. I en studie av Wallertz mfl. (2016) ga dette en positiv effekt på de svenske forsøksfeltene, men ingen signifikant effekt på tre norske felt som var med i undersøkelsen, trolig fordi effekten på de norske feltene ble overskygget av senvintertørke.

Plantetyper og -størrelse. Studier har vist at plantens vitalitet og størrelse har betydning både for hvor mye skader den får, og for hvor motstandsdyktig den er mot skader. Jo større plantens rothalsdiameter er, jo mer sannsynlig er det at den overlever, men diameteren må opp i så mye som 8-10 mm før de er oppe i «sikker» størrelse (Thorsén mfl. 2001). I snutebilleundersøkelsene som ble foretatt 2009-2011 var det større avgang for ettårige M95-planter enn for toårige (se f.eks. Hanssen 2012). Liknende resultater ble funnet av Heiskanen og Viiri (2005) i Finland. En vital plante, uansett størrelse, vil ha større motstandskraft mot skader. Se kap. 3.2.4. for mer diskusjon om plantetyper.

Plantebeskyttelse er et helt nødvendig tiltak mot snutebiller i Sør-Norge, og finnes i forskjellige former. Mest vanlig er en form for kjemisk beskyttelse, hvor plantene behandles med et insektmiddel i planteskolene. I Norge brukes nå hovedsakelig middelet Merit Forest WG (virksomt stoff imidakloprid). Studier viser at konsentrasjonen av insektmidler i plantenes bark går nokså raskt ned (Petersson og Örlander 2007), noe som kan bidra til at de ikke har så god effekt etter det første året i felt. De siste årene er det blitt utviklet forskjellige andre metoder for beskyttelse, uten bruk av kjemikalier. Mest brukt er forskjellige former for beleggbeskyttelse, slik som Conniflex (Sveaskog), Cambiguard (Södra) eller voksbehandling, blant annet utviklet av Norsk Wax. Målet med disse metodene er at plantene skal beskyttes godt mot snutebillene i minst to sesonger.

Riktig utført voksbehandling, hvor voksen legges på i et passe tykt lag og avkjøles raskt etter påføring, er en lovende metode. I et forsøk i Brunlanes i Vestfold var avgangen etter to sesonger 6 % for voksbehandlede planter og 76 % for ubehandlede planter (Ane Vollsnes, pers. medd.). Andre forsøk

med voks og insektsmidler har ellers vist en nokså lik effekt av Merit Forest, voks, Conniflex og Cambiguard (se f.eks. Eriksson mfl. (2017)).

Pr. i dag er det bare en norsk planteskole (Skogplanter Østnorge) som har utstyr for å påføre voks, men flere vil trolig ta i bruk lignende metoder de kommende årene.

3.2.7.3 Mål

Mye av avgangen på plantefelt skyldes i dag snutebillene, selv om også faktorer som gnag av andre insekter eller mus, beiting av større pattedyr, vegetasjonskonkurranse, tørke, drukning eller frost stedvis kan være viktige årsaker. Klimaendringer med økt sommertemperatur vil bidra til raskere utvikling av snutebillenes egg og larver, og bedre overlevelse. Det er derfor sannsynlig at skadepotensialet øker. Men med økt bruk av markberedning og fortsatt forskning på bedre beskyttelsesmetoder bør det være mulig å begrense snutebilleskadene adskillig mer enn i dag. Det bør være et mål at under 10 % av plantene dør av snutebillegnag de første tre årene etter planting.

3.2.7.4 Kunnskapshull

Det er fortsatt behov for mer kunnskap om hvilke områder som er mest utsatt for snutebilleskader, og tiltak som kan begrense skadene. Dette gjelder for eksempel effekten av ulike markberedningsmetoder på forskjellige jordtyper, og fortsatt utvikling og forbedring av (mekanisk) plantebeskyttelse som er holdbar i minst to sesonger.

3.2.8 Suppleringsbehov

Formålet med suppleringsplanting er å fylle ut hull som har oppstått i bestandet den første tiden etter planting, for at markas produksjonsevne skal utnyttes best mulig. Imidlertid viser studier at man må være rask med å foreta suppleringsplanting dersom disse plantene skal utgjøre noen betydelig andel av det fremtidige bestandet. Dette skyldes at suppleringsplantene blir utsatt for hard konkurranse fra både opprinnelige kulturplanter og lauvoppslag.

Konkurransen vil naturlig nok variere med størrelsen på åpningene. Braathe (1992) viste at dersom nullruteprosenten (andel 2 x 2 m ruter uten planter) var relativt lav og den opprinnelige foryngelsen hadde blitt høyere enn 50 cm ved suppleringsplantingen, ville få av de supplerte granplantene nå 60 cm høyde etter 25 år. Han anbefalte ikke å supplere foryngelser med en nullruteprosent på ≤ 20 . Gemmel (1987) konkluderte i sin doktorgrad med at suppleringsplantingen burde skje innen to år etter den første plantingen. Nilsson og Gemmel (2007) viste at overlevelsen til supplerte granplanter på to felt i Sør-Sverige var god etter 24 år, men at suppleringsplantene vokste langsommere enn de opprinnelige plantene. De fant at suppleringsplantingen ikke betydde så mye for volumproduksjonen, men at den bidro til å bedre kvaliteten i bestandet. De anbefalte ikke å supplere med granplanter i mindre enn 150 m² dersom formålet kun var økt volumproduksjon, og heller bruke naturlig lauvoppslag som utfyllingstrær i mindre åpninger.

Større planter vil klare suppleringsplantingen best (Braathe 1992, Gemmel 1987). Treslag med rask ungdomsvekst kan være bra som suppleringsstreslag, for eksempel furu i granbestand. Men i områder med mye elg er dette vanskelig fordi furuplantene blir hardt beitet (Braathe 1992, Nilsson og Gemmel 2007).

Suppleringsplanting blir dyrere per plante enn vanlig planting, siden tidsforbruket per plante vil være høyere (plantemannskapet må gå lengre avstander mellom hver plante de setter ned og gjøre en grundigere vurdering av om og hvor det trengs ekstra planter). Høyere kostnader, høy avgang for suppleringsplanter samt begrenset effekt på langsiktig produksjon gjør det viktig å vurdere inngrepet nøye.

Konklusjonen i disse undersøkelsene er at eventuell suppleringsplanting bør skje så tidlig som mulig, helst allerede året etter planting, men seinest to år etter. Dersom avgangen skyldes snutebiller, bør man imidlertid vente med suppleringen til høsten det tredje året etter hogst, hvis ikke kan man risikere at billene skader også de nyutsatte plantene.

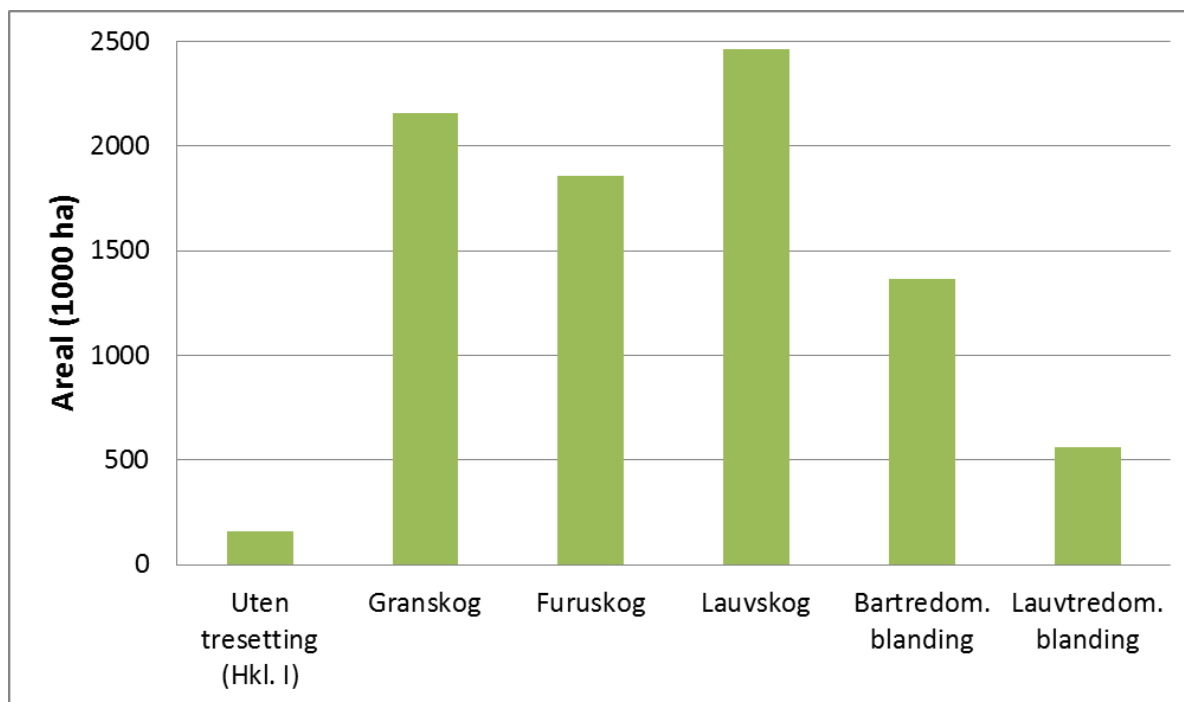
For å være raskt ute med supplering må man ha god kontroll med plantefeltene, slik at man så tidlig som mulig vet hvor det er behov. Man bør bruke store og vitale planter ved suppleringen. I mindre åpninger bør man vurdere å bruke naturlig foryngede lauvtrær som utfyllingstrær.

3.3 Treslagsvalg

I dette kapitlet fokuseres primært på gran, furu og bjørk, og betydningen av å velge renbestand versus blandingsbestand med hensyn på produksjon og risiko, samt at vi drøfter treslagsskifte som et mulig tiltak. Videre belyser vi endringer i utbredelsesområder ved klimaendringer, og om vi bør tenke nytt med hensyn på treslagsvalg. Kan alternative treslag redusere risiko på noen lokaliteter? Bør en velge ulike treslag på eiendomsnivå for å spre risiko? Alternativer til gran?

3.3.1 Blandingsskog

Skjøtsel av blandingsskog er blitt viet relativt liten oppmerksomhet i Norge, både innen forskningen og i det praktiske skogbruket. Dette på tross av at slik skog utgjør en ikke ubetydelig del av det produktive skogarealet (figur 6). Hos oss er det først og fremst blandingsskog av gran og furu, og gran i blanding med bjørk, som har størst økonomisk interesse, selv om også andre treslagsblandinger er vanlig i deler av landet - slik som for eksempel blanding av furu og bjørk. I edellauvskog, som på landsbasis utgjør et beskjedent areal, er blanding mellom ulike treslag også snarere regelen enn unntaket.



Figur 6. Areal av ulike skogtyper i produktiv skog. Bartredominert blandingsskog omfatter arealer med mindre enn 10 % lauvtrær og hvor gran og furu hver for seg utgjør inntil 70 % av samlet kubikkmasse (hogstklasse III-V) eller kronedekning (hogstklasse II). Lauvtredominert blandingsskog er arealer med inntil 70 % lauvtrær, men hvor lauvtrærne utgjør en større andel enn gran og furu hver for seg. Blandingsskog der lauvtrær samlet utgjør mere enn 70 % inngår i kategorien «lauvskog». Data fra Landsskogtakseringen 2011-2015.

Det finnes ulike definisjoner av «blandingsskog» (Bravo-Oviedo mfl. 2014). Kriteriene gjelder dels hvor høy andel en må ha av ett gitt treslag i blanding med andre for å kunne si at det er snakk om et blandingsbestand, og dels hvilken enhet en vurderer andelen etter (f.eks. kronedekning, grunnflatesum, volum eller treantall). I Landsskogtakseringen defineres et skogbestand i hogstklasse III-V som blandingsskog dersom ingen av treslagsgruppene gran, furu eller lauvtrær alene utgjør over 70 % av samlet kubikkmasse. I hogstklasse II bestemmes skogtypen ut treslagenes andel av samlet kronedekning (1 daa vurderingsområde).

Fordeler som har blitt trukket fram med blandingsskog kontra treslagsrene skogbestand omfatter:

- Mulig økt virkeproduksjon
- Redusert råterisiko
- Økonomisk risikospredning (unngå å legge «alle eggene» i samme kurv)
- Blandingsskog etterligner naturlig skogdynamikk i større grad enn treslagsrene bestand

Med blandingsskog velger vi her å avgrense til skog der treslagene er enkeltvis blandet, men hvor de også kan være både stratifisert på ulike høydesjikt i faser av bestandsutviklingen. Dette vil ofte være tilfellet da ulike treslag har en ulik vekstrate over et bestandsomløp. I det følgende gis en kort gjennomgang av forhold av betydning for virkeproduksjonen i de vanligste blandingsskogtypene i Norge, henholdsvis gran-furu og gran bjørk. Forhold knyttet til risikohåndtering (stabilitet) behandles nærmere i kapittel 3.3.1.2.

3.3.1.1 Produksjon i blandingsskog

Hypotesen om en positiv «blandingsskogeffekt», dvs. større produksjon i blandingsskog sammenlignet med treslagsrene bestand, baserer seg på økologisk nisjeteori. I dette ligger en antakelse om at treslag med ulike egenskaper (for eksempel ulik fordeling av røtter og bladverk, ulik vekstrytme) utnytter ulike deler av vekstrommet over og under bakken og dermed konkurrerer mindre med hverandre om tilgjengelige ressurser enn det individer av samme treslag gjør (Kelty 1992). Implisitt vil dette kunne gi som resultat at et eller begge (flere) treslag i blanding vokser bedre sammen enn når de deler det samme arealet med «artsfrender». Samtidig kan en se for seg at noen treslag vil kunne ha en fordel av å vokse sammen med andre treslag der disse har en gunstig effekt på jordbunnstilstanden.

Ulike tilnærmingsmåter, både modellsimuleringer, analyser av temporære forsøksflater og langsiktige feltforsøk, har vært anvendt for å klarlegge i hvilken grad blanding av ulike treslag påvirker virkeproduksjonen. Mens det i Norden finnes relativt mange feltforsøk der en har kunnet følge bestandsutviklingen i en kort fase av omløpet, først og fremst unge blandingsbestand av gran og bjørk (lavskjerm), så finnes det få feltforsøk der en enda har hatt mulighet til å følge ulike typer blandingsbestand gjennom et helt omløp. For å sammenligne produksjon i blandingsbestand over et helt omløp må forskningen derfor også bruke modellsimulering som verktøy.

Treslag med vekstkarakteristika og krav til voksestedet som gjør dem egnet for å utvikle seg sammen i tilnærmet ensjiktete bestand vil gjerne være de enkleste å håndtere som blandingsskog, da behandlingen av slike bestand lett kan tilpasses innarbeide skjøtselmaler i skogbruket. Et godt eksempel på dette er blandingsskog av gran og furu på midlere boniteter, hvor disse to treslagene vil ha en sammenlignbar høydeutvikling (Jonsson 1962). En høy elgbestand er imidlertid en vesentlig utfordring i forhold til å etablere slik skog, og har gjennom de siste tiårene medført at en i store deler av Skandinavia har valgt å etablere rene granbestand på arealer hvor blandingsbestand av gran og furu vill være godt egnet.

Blanding av treslag som har ulik skyggetoleranse og vekstrytme, slik at de kan vokse i ulike sjikt i deler av omløpet kan imidlertid også gi et vellykket resultat. For norske forhold vil blanding av gran og bjørk være det mest relevante eksempelet. For å oppnå et høyt produksjonsnivå i blandingsskog av gran og

bjørk over et helt omløp, kreves imidlertid en nøye oppfølging med tetthetsregulerende inngrep utført til «riktig» tid, i enda større grad enn i treslagsrene granbestand.

3.3.1.1.1 Gran-furu blandingskog

Flertallet av nordiske studier av blandingsbestand av gran og furu er utført i skog på middels bonitet, hvor begge treslagene hver vil få en god utvikling når de dyrkes i treslagsrene bestand. En analyse med finske tilvekstmodeller (Pukkala mfl. 1994) antyder at blandingsbestand med gran og furu under slike forhold kan oppnå noe høyere produksjon enn hver av treslagene kan oppnå hver for seg, men at det med tanke på størst mulig volumproduksjon kan være fordelaktig å redusere furuandelen noe i siste halvdel av omløpet gjennom tynninger. Også Lindén og Agestam (2003), som analyserte svenske forsøk, viser til en positiv effekt av å ha noe graninnblanding sammen med furu, men framhevet samtidig at forskjellen i forhold til treslagsrene bestand ikke er stor. Jonsson (2001) fikk som resultat at den totale virkeproduksjonen i blandingsbestand etter om lag halvveis i omløpet var om lag på nivå med gjennomsnittet av gran og furu i treslagsrene bestand, og størst i rent furubestand.

Feltforsøk i blandingskog av gran og furu som dekker et helt omløp finnes så vidt vi kjenner til ikke i noen av de nordiske landene, og de nevnte studiene dekker kun en begrenset del av et omløp eller er basert på modellsimuleringer. Fra Mellom-Europa (Polen) kan en imidlertid vise til forsøk med blandingsbestand av gran og furu, som dekker en observasjonsperiode på over 100 år (Bielak mfl. 2014). Også i dette forsøket, som omfattet blandingsbestand på tre ulike lokaliteter med sandholdig og relativt næringsfattig jord, fant man en positiv effekt av å dyrke gran og furu i blanding. Dog kan det sies at resultatene fra dette forsøket er noe usikre ved at en her manglet forsøksruter med ren granskog, og var nødt til å anvende produksjonstabeller for gran som sammenligningsgrunnlag. Dette forsøket er imidlertid spesielt interessant i et klimaperspektiv, ved at man fant at den positive effekten av å blande de to treslagene var størst i klimatisk ugunstige (tørre) år. Ut fra dette kan en også anta at effekten av å blande de to treslagene er større i et kontinentalt klima med moderate nedbørsmengder og relativt høye sommertemperaturer, hvor grana kan påvirkes mere negativt av tørkestress enn furu, sammenlignet med lokaliteter med høy nedbør og rikelig vanntilgang. Forfatterne av denne studien framhevet at klimaendringer kan være et argument for å foretrekke blandingsbestand av gran og furu framfor treslagsrene bestand.

En aktuell metode for å etablere blandingsbestand av gran-furu er den såkalte kombinasjonsmetoden (Karlsson og Örlander 2004, Nilsson mfl. 2006), der en legger til rette for naturlig foryngelse av furu ved å sette igjen en relativ tett frøtrestilling (10-15 trær/daa) og planter gran. Risikofaktorer er først og fremst mulig vindfelling i frøtrærne, som i den ovenfor nevnte studien til Nilsson mfl. (2006), som omfattet 22 bestand i ulike deler av Sverige, rammet 18 prosent av trærne Midt-Sverige og 9 prosent av trærne i de sørlige og nordlige landsdelene. På den andre siden viser antyder noen studier at innblanding av furu i bestandet vil kunne redusere risikoen for råteinfeksjoner i gran (Lindén 2003). En viss reduksjon av råtefrekvensen i gran ble også vist for blandingsbestand av gran og bjørk (Piri mfl. 1990). Forskningslitteraturen er imidlertid ikke entydig på dette området (Lindén 2003).

3.3.1.1.2 Gran-bjørk blandingskog

Etter åpne hogster vil det spesielt på hogstfelt med middels til høy bonitet raskt etableres et oppslag av naturlig foryngt bjørk. Selv om bjørkeoppslaget vil variere med fuktighetsforhold, vegetasjonstype og frøtilgang (Frivold 1986), vil innblanding av bjørk i granforyngelser (plantet eller naturlig gjenvekst) snarere være regelen enn unntaket etter åpne hogster på midlere og bedre boniteter. Et tett oppslag av bjørk i bartreforyngelsene blir gjerne betraktet som et problem, i og med at målsettingen for skogeier som oftest er å etablere et nytt granbestand raskest mulig. For å unngå veksthemming på grana vil det da være nødvendig å gjennomføre lauvtrerydding. Ved bruk av ryddesag må inngrepet ofte gjentas for å fjerne nye stubbeskudd, alternativet vil eventuelt være å fjerne lauvtreoppslaget ved kjemisk behandling, en metode som i dag er kontroversiell. Et rikelig oppslag av bjørk gir imidlertid også mulighet til å satse på blandingskog gran-bjørk, der målsettingen enten kan være å beholde en treslagsblanding gjennom et helt omløp, eller å sette igjen en lavskjerm som tas ut når bjørka kan gi

nyttbare dimensjoner, og hvor en i siste del av omløpet har et rent granbestand. I Norge og Norden for øvrig er det først og fremst det siste alternativet som det har blitt forsket mest på, gjennom ulike studier som belyser produksjonen i unge blandingsbestand.

Mens man i skogbruket først og fremst har betraktet lavskjerm av bjørk som et hjelpemiddel til å redusere risikoen for frostskafer i granforyngelsen på utsatte lokaliteter (Bergan 1987), så viser beregninger utført av Tham (1988, 1994) også at et skjøtselregime med bjørk som lavskjerm vil kunne bidra til økt totalproduksjon over et helt omløp. Dette under forutsetning av at skjermen ikke er for tett og at den fjernes relativt tidlig, slik at den ikke hemmer granforyngelsen betydelig (Tham 1988, 1994). Grunnet den ulike vekstrytmen til treslagene, der bjørka normalt vokser raskere i starten enn gran, oppnås en raskere volumøkning tidlig i omløpet ved å sette igjen bjørk som skjerm over granforyngelsen, sammenlignet med et rent granbestand (Braathe 1988, Tham 1988, Mård 1996). Dersom et slikt skjøtselregime skal kunne gi samme eller eventuelt større volumproduksjon som i et rent granbestand sett over et helt omløp, forutsetter dette at den ekstra volumproduksjonen som den rasktvoksende bjørkeskjermen gir tidlig i omløpet, kompenserer for forsinket utvikling i grana. Mens granforyngelsen påvirkes lite av en glissen bjørkeskjerm de første årene etter inngrepet, vil en tett bjørkeskjerm som oftest redusere høyde- og diametertilveksten til grana i betydelig grad sammenlignet med et bestand der all bjørka fjernes (Braathe 1988, Granhus og Dietrichson 1997). En svensk studie indikerer at grana kan «ta igjen» noe av den tapte høydeveksten etter at skjermen er avviklet (Tham 1988). Bestandsutviklingen i slik skog etter at skjermen er fjernet og fram til grana blir hogstmoden må imidlertid anses som usikker, da feltforsøk med slike behandlingsalternativer ikke har nådd hogstmoden alder. Det er uansett lite trolig at en kan påregne en vesentlig produksjonsgevinst ved en skogbehandling med lavskjerm av bjørk over gran i ungskogfasen, sett over et omløp. Det som er klart er at metoden gir gode muligheter for tidlig uttak av energivirke, men økonomien for skogeier vil i stor grad avhenge av om slikt uttak kan gjennomføres med overskudd og i hvor stor grad bjørka forsinkes granas vekst. Dersom den tidlige konkurransen fra bjørkeskjermen medfører vesentlig forlenget omløpstid for grana, vil økonomien for skogeier ved en «lavskjermstrategi» ventelig bli negativ med dagens med dagens virkespriser og driftskostnader (Valkonen og Valsta 2001).

Dagens kunnskap om produksjonsnivået i gran-bjørk blandinger der bjørk inngår i bestandet fram til hogstmodenhet er i hovedsak basert på undersøkelser på temporære (engangs-) flater samt modellsimuleringer. En finsk studie (Mielikäinen 1985) antyder en svak økning i totalproduksjonen ved en moderat innblanding av hengebjørk, men redusert produksjon når gran vokser i blanding med dunbjørk. En svensk studie (Agestam 1985) fikk som resultat at totalproduksjonen ble noe redusert sammenlignet med rent granbestand. Av norske forsøk er det verdt å nevne en større forsøksserie som ble etablert på midten av 70-tallet, hvor en testet ut ulike blandingsforhold av gran og bjørk (Braathe 1988). Kun et begrenset antall av de opprinnelige feltene er i dag intakte, men ut fra foreliggende data fra et av forsøkene (Skiptvet, bonitet G25), viser resultatene at behandlingsleddet ren granskog over tid har innhentet forspranget i volumtilvekst som forsøksrutene med bjørkeinnblanding (lavskjerm) hadde den første perioden av omløpet, og nå framviser størst stående volum og årlig middeltilvekst. Resultatene viser følgelig at en vesentlig innblanding av bjørk i senere deler av omløpet medfører redusert middeltilvekst. Det er imidlertid ikke utført tetthetsregulerende inngrep i dette forsøket siden etableringen. Det er derfor usikkert i hvilken grad en tidlig fjerning av bjørkeskjermen, eventuelt en gradvis reduksjon av bjørkeandelen, som i dette forsøket var relativt høy, ville slått ut.

3.3.1.1.3 Konklusjon med hensyn på produksjon

De mest vanlige og samtidig mest interessante blandingsskogformer for norske forhold ut fra et produksjonssynspunkt er blanding gran-furu på midlere boniteter, og blanding av gran og bjørk i tidlig fase av omløpet (lavskjerm) der bjørka fjernes ved en overhøyde på 10-15 m, slik at en i siste del av omløpet har et tilnærmet rent granbestand. Studier fra Norden som sammenligner produksjon i blandingsskog og treslagsrene bestand dekker kun deler av bestandsutviklingen fram til hogstmodenhet. Det er derfor vanskelig å konkludere entydig om produksjonsmessige konsekvenser

av å øke andelen blandingsskog. De fleste studier fra Norden tyder på at produksjonsnivået i blandingsskog vil ligge nær et gjennomsnitt av det treslagene vil produsere hver for seg i treslagsrene bestand, men det er også studier som viser at man under gitte forutsetninger vil oppnå både høyere og lavere volumproduksjon i blandingsskog. Med hensyn på dyrkingssikkerhet og risikospredning i et endret klima finnes det støtte for at blandingsskog av gran og furu kan være en aktuell tilpasning på egnede voksesteder, spesielt i deler av landet hvor sommertørke kan bli mere hyppig .

3.3.1.2 Risiko ved blandingsskog

En innblanding av lauvtrær i granskog øker risikoen for vind- og snøskader på grantrærne, selv om lauvtrær er i seg sjøl mindre utsatte for vind- og snøskader. Litteraturen på dette området kan virke motstridende. I studier av stormskader på skog så vil skog med høy lauv-andel ofte ha mindre skader enn rein granskog. Men samtidig er det vist en innblanding av lauvtrær svekker grantrærnes stormstyrke, særlig når man har en kant av lauvtrær rundt et granbestand. For eksempel har Persson (1975) vist at en kappe av løvtrær rundt et granbestand ikke beskytter grantrærne mot vindskader som man kanskje kunne tro, men tvert i mot i en del tilfeller øker vind-skadene på grantrærne. Årsaken til disse tilsynelatende motstridende funn synes å være at vi har både en positiv og en negativ effekt av lauvinnblanding. Den positive effekten er at lauvtrærne tåler mer vind enn gran om vinteren, fordi vindfanget er lite når bladene er borte. Innblandingen av lauv gir altså mindre skader fordi man øker andelen av stormsterke lauvtrær og minsker andelen stormsvake grantrær. Den negative effekten er at lauvtrærne gir an såkalt herdingsblokkering på grantrærne (Nørgård-Nielsen 2001). Om sommeren mens løvtrærne har løvet på så vil de skjerme bartrærne for vind, slik at bartrærne ikke får et tydelig 'vind-signal' om å styrke seg. Når så vinteren og stormsesongen kommer, så mister løvtrærne bladene og bartrærne står uforberedt til å møte vindkreftene. Denne herdingen kalles også «thigmo-morfogenese», og den består i at trær som utettes for vindkrefter responderer på disse ved å få redusert høydevekst, økt diametervekst, kortere greiner, sterkere røtter, og reaksjonsved (tennar) og eksentrisk vekst i stamme og røtter (Telewski 1989; Telewski & Jaffe 1986). Disse tilpasningene i treet varierer med vindretning, og er mest utviklet på vindsida mot framherskende. I tillegg vil stammen bli noe oval i framherskende vindretning, røttene vokser mer på vindsiden og vedens styrke økes ved at det dannes såkalt reaksjonsved (tennar) i stammen og i røttene. Herdingen er mest aktiv i vekstsesongen, men forsøk har vist at den også fungerer under veksthvilen vinterstid, men herdingen er da svakere og den er indirekte ved å føre til økt sensitivitet og herding i påfølgende vekstsesong (Valinger mfl. 1995).

3.3.2 Treslagsskifte

3.3.2.1 Bjørk som alternativ i råteutsatte granbestand

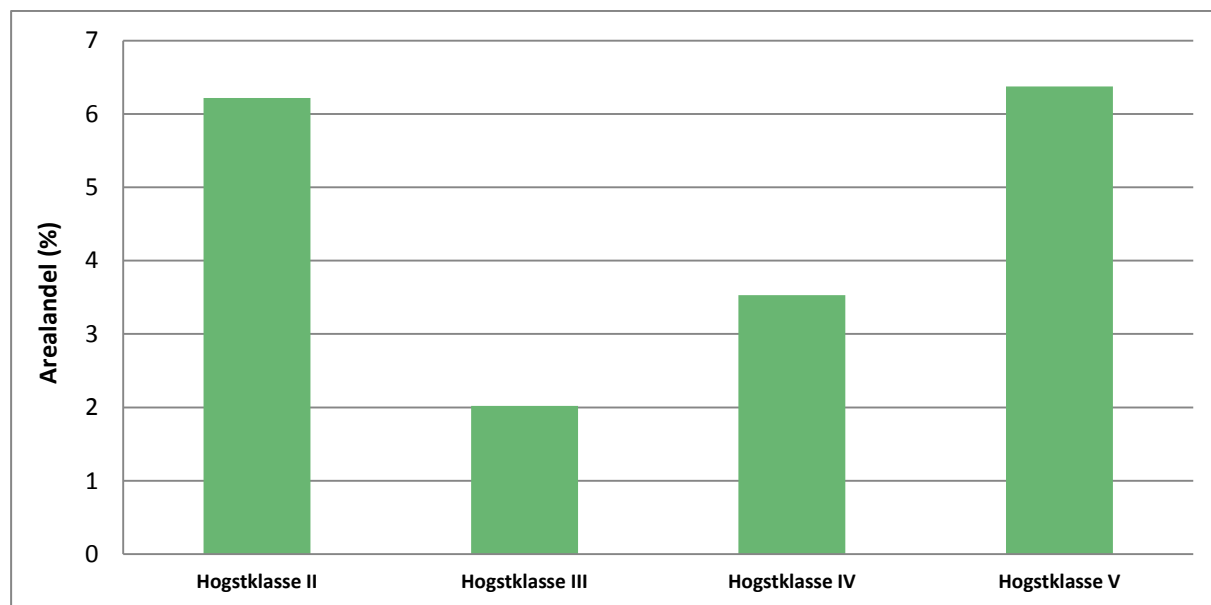
Siden rotkjuke kan holde seg i live i stubber 30-40 år og spres derfra til neste tregenerasjon, er fjerning av rotkjuke fra infiserte bestand meget utfordrende. Per i dag er den eneste praktiske måten å bli kvitt rotkjuke å ha et omløp med motstandsdyktige treslag (Huse mfl. 2013). I Finland er treslagsskifte anbefalt hvis frekvensen av rotkjukeråte er over 10 % (Äijälä mfl. 2014). Tatt i betraktning tømmerprisforskjeller på forskjellige treslag og usikkerhet rundt fremtidig prisutvikling, er det ikke enkelt å bestemme når treslagsskifte lønner seg i råteutsatte bestand økonomisk sett. I råteutsatt granskog med midlere og høy bonitet er treslagsskifte fra gran til løvskog aktuelt siden granrotkjuke, den dominerende rotkjukearten i norske granskoger, først og fremst angriper gran. I råteutsatte granskoger på svakere bonitet er treslagsskifte til furu også aktuelt. På Vestlandet er fururotkjuke den dominerende rotkjukearten. Der kan råteutsatte furubestand og plantet granskog med fordel fornyes med bjørk som er mer tolerant mot fururotkjuke enn nåletrær. Men det må veies mot lokal risiko for beiteskader på bjørk.

Det fins et stort behov for å utvikle kontrolltiltak og skogbehandlinger som reduserer fremtidige skader i råteutsatte bestand som samtidig tillater dyrking av mottakelige treslag. Nøyaktig registrering

av den romlige forekomsten av råte i bestand er i utgangspunkt allerede gjennomførbart med posisjoneringssystemer brukt av dagens hogstmaskiner. I Finland har det blitt estimert at planting av gran 4 meter fra rotkjukeinfisert stubbe reduserer smittefaren med 80% (Piri 2003). Siden rotkjukeåte gjerne opptrer i små grupper, skulle tilgang til slik råtekart tillate planting av lauvtre i slike infeksjonslommer mens man ellers i bestandet kunne plantemottakelige treslag, for eksempel gran. Teknisk sett er tiden moden for digitalisering og deling av slike data til glede for skogeierne.

3.3.2.2 Skifte til gran på furumark

Når det avvirkes furu i områder hvor en høy elgbestand gjør det vanskelig å etablere ny furuforyngelse, vil ofte konsekvensen bli at en får et nytt bestand av gran, som ikke beites av elg. På typisk furumark medfører dette da at markas produksjonsevne ikke utnyttes fullt ut. For både den enkelte skogeier og for skognæringen som helhet kan den reduserte verdiskapingen som følge av dette være betydelig. Det er imidlertid ikke tidligere dokumentert hvor store arealer med potensiell furumark som er bestokket med gran. Et estimat basert på data fra Landsskogtakseringen er framstilt i figur 7. Denne viser hvor stor andel av dagens grandominerte arealer i hogstklassene II-V der det er vurdert at produksjonsnivået (boniteten) vil vært høyere om arealene var bevokst med furuskog. Andelen av slike arealer er størst, litt over seks prosent, i den aller yngste og eldste skogen (hogstklassene II og V). Det er nok først og fremst i hogstklasse II at dette er et resultat av den høye elgbestanden de senere årene. At andelen også er så vidt høy i hogstklasse V kan antakelig ha sin årsak i tidligere tiders dimensjonshogster, som vil favorisere naturlig gjenvekst av gran på bekostning av den mere lyskrevende furua. Selv om en del av den grandominerte skogen på disse arealene også har innblanding av noe furu, vil det uansett være ganske store arealer hvor en kan anta at markas produksjonsevne ikke utnyttes optimalt grunnet «feil» treslag. De produksjonsmessige konsekvensene er imidlertid mangelfullt klarlagt.



Figur 7. Andel av grandominert skogareal i hogstklasse II-V hvor høyeboniteten (H40) er vurdert til å være høyere for furu enn for gran. Kilde: NIBIO - Landsskogtakseringen (upubliserede data).

For å vurdere konsekvensene av å skifte treslag, er kjennskap til sammenhengen mellom treslagenes produksjonsevne på samme areal sentralt. Braastad (1983) så på sammenhengen mellom høydebonitet og produksjonsevne for gran, furu og bjørk i Sør-Norge, og ut fra dette kom han fram til at det er liten forskjell i produksjonsevne for furu relativt til gran innenfor bonitetsintervallet G10-G16, mens svakere og rikere mark fikk en større forskjell. Treslagenes relative produksjonsevne er også

undersøkt for Vestlandet av Øyen og Tveite (1998). Av nyere arbeider kan en peke på en studie basert på svenske langsiktige feltforsøk (Nilsson et al. 2012), som omfattet gran og furu på samme lokalitet i indre deler av de nordlige Sverige (ca. 62-66°N). I denne studien fant man at furubestandene oppnådde til dels vesentlig høyere middeltilvekst på elleve av de tolv forsøkslokalitetene. Forsøksrutene omfattet hovedsakelig skog på blåbær- og bærlyngmark, men også et par lokaliteter med rikere vegetasjon. Dette kan tyde på at produksjonspotensialet til furua, relativt til gran, kan være noe underestimert for midlere boniteter. Det er mulig at resultatene i denne studien er betinget av det relativt kontinentale klimaet i indre deler av Nord-Sverige, og behandlingshistorikken på forsøksfeltene, som for en stor del var forynget etter flatebrenning. Men dersom disse resultatene også er gyldige for norske forhold, tyder de på at det kan være nødvendig å nyansere anbefalingene om hvilke treslag som bør prioriteres på midlere boniteter. Dette må i tilfelle undersøkes nærmere.

3.3.3 Utbredelsesområder ved klimaendring

Klimaet vi kan forvente utover på 2000-tallet har forekommet i Norge tidligere. I varmeperioden etter siste istid, for 9000-6000 år siden, vokste det furuskog opp til 1250 meters høyde på Hardangervidda. På den tiden var sommertemperaturen 1,5-2 grader høyere enn perioden 1961-1990 (Nesje mfl. 2012). Det var imidlertid ikke bare de øvre tregrensene som var høyere enn i dag, rekonstruksjoner basert på pollenanalyser viser at også eika har hatt større utbredelse i tidligere tider enn i dag (Birks & Tinner 2016).

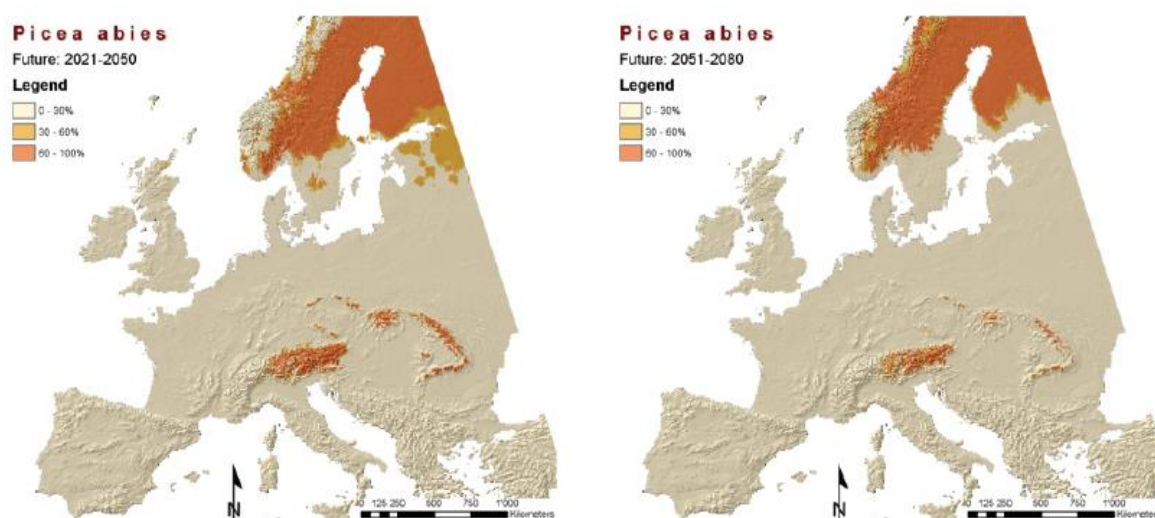
Klimaendringer i siste del av 1900-tallet har allerede gitt observerbare endringer i flere treslags utbredelse i Norge. Studier av trærers utbredelse har særlig vært utført i forhold til tregrensen mot fjellet. Her er det påvist at opphør av setring og beite har resultert ekspanderende bjørkeskogsareal og forskyving av skoggrenser (Bryn 2008). Videre er det beregnet at potensiell skogekspansjon på grunn av opphørt beite kan bli opp mot 48 800 km² eller 15,9 % av Norges landareal under *dagens* klima (Bryn mfl. 2012). Nylig er det også gjort repeterte målinger av endret skoggrense basert på sammenligninger med registreringer fra 1913-1920. Disse studiene viser at den høyeste skoggrensen nå ligger på 1334 m o.h., noe som er 131 meter høyere enn for hundre år siden (Bryn mfl. 2017). Den sistnevnte målingen er fra et område som er upåvirket av setring, slik at denne endringen kan tilskrives klimaendring. Bryn og medforfatterne understreker likevel at den gjennomsnittlige økningen av skoggrensen er vesentlig mindre enn denne maksimumsobservasjonen (men de oppgir ikke hva gjennomsnittlig økning er). Også i Nord-Amerika er det observert ekspanderende utbredelse for treslag basert på repeterte observasjoner (Boisvert-Marsh mfl. 2014).

En annen type kunnskap har vi fra *modeller* av forskjellige treslags utbredelse i forhold til viktige miljøfaktorer, herunder klima. Slike modeller har en stor spennvidde og kan grovt deles inn i prosess-orienterte modeller og statistiske utbredelses-modeller. Prosessorienterte modeller favner igjen et bredt spekter av modeller som vektlegger plantefysiologi og biokjemiske prosesser, populasjonsdynamikk med konkurranse eller demografiske prosesser hos enkeltarter. Slike prosess-orienterte modeller er biologisk realistiske, også under endret klima, men de har begrenset evne til å predikere forekomst under kombinasjoner av mange miljøforhold innen store geografiske områder, slik som hele Norge. Dette gjør at statistiske utbredelsesmodeller gjerne benyttes for å vurdere forventede effekter på arters utbredelse under endret klima.

Statistiske utbredelses-modeller er den metoden som vanligvis brukes for å predikere treslags utbredelse under endrede klimaforhold. Det finnes en rekke metoder for statistiske utbredelses-modellering (se Stokland mfl. 2008, for en norskspråklig innføring). Felles for alle er at de bruker artsforekomster innenfor et større geografisk område og relaterer artenes forekomst til miljøfaktorer (som klima, topografi og jordbunnsforhold) og lager en statistisk modell for artenes forekomst som en funksjon av disse miljøfaktorene. Slike modeller kan beregne forekomst for arter innenfor hele Norge eller Europa, med relativt høy romlig oppløsning (mindre enn 1 km gridceller). Når modellene først er

utviklet kan de benyttes til å predikere forekomst under endrede klimaforhold. Også slike modeller har svakheter. Akkurat som prosessorienterte modeller er de svært usikre for nye kombinasjoner av klima og øvrige miljøfaktorer vi ikke kan observere i dag.

Kvaliteten på slike modeller varierer både i forhold til hvilke statistisk metode som er benyttet og hvilke datasett som ligger til grunn for analysene. Det er publisert en rekke modeller for framtidig utbredelse av ulike treslag. Noen av de beste modellene som forekommer er produsert i EU-prosjektet MOTIVE som benytter treslagsdata samt klimadata og klimaprojeksjoner fra hele Europa. Videre benyttes ensemble-prediksjoner som kombinerer flere analyseteknikker slik at resultatene blir mer robuste. Dette prosjektet har sett spesielt på forventet egnethet for gran under framtidig forventede klimaforhold (figur 8).



Figur 8. Forventet egnethet for gran under framtidige klimaprojeksjoner i 2021-2050 og 2051-2100 (Zimmermann mfl. 2013).

Disse projeksjonene viser at grana vil få markant dårligere vekstforhold i Mellom-Europa og kun noen egnede rest-arealer i høyereliggende strøk, hovedsakelig i Sveits. I Nord-Europa vil arten få økende areal med egnede vekstforhold i høyereliggende strøk, men mer uegnede vekstforhold i Syd-Sverige og etter hvert også i lavereliggende strøk i Sydøst-Norge. Studien peker på at det i særlig grad er økende hyppighet av ekstremsituasjoner (i forhold til artenes toleranse) som gjør at arter mister arealer i den sydlige delen av sin utbredelse. For granas vedkommende pekes det på ekstreme tørkesomre som utslagsgivende. Det kan i denne forbindelse nevnes en slik ekstrem-situasjon som forekom i Norge på 1970-tallet. Da hadde vi svært tørre somre to år på rad i Norge med omfattende skader som følge av granbarkbille over store områder. Disse angrepene gjorde at grana ble helt slått ut på tørkesvake arealer i Vestfold og her skiftet treslagssammensetning stedvis fra grandominerte arealer til rene løvskoger. Økende frekvens av slike ekstremsituasjoner kan forventes å forrykke utbredelsen for treslag gjennom slike fenomener som hittil har påvirket træs utbredelse i liten grad.

Furu er mer tørkeresistent enn gran og forventes ikke å tape terreng slik som gran, men MOTIVE-modellene samlet tilsier likevel at vi kan forvente et overordnet skifte i egnethet fra bartrær til løvtrær i kavereliggende strøk i Syd-Norge i løpet av de neste 100 år (jfr. Zimmermann mfl. 2013, Linder mfl. 2014). Det er da særlig treslag som bok, eik, lønn og lind som forventes å få bedre vekstbetingelser under de prognoserte klimaendringene (Zimmermann mfl. 2011).

Basert på de omtalte studiene kan en sammenfatte med at en rekke treslags utbredelse vil bli grunnleggende påvirket av forventede klimaendringer de neste hundre årene. De fleste studiene er relativt grove og de bør følges opp med mer detaljerte regionale studier. Det kan nevnes at en slik

detaljert regional analyse er gjort for treslaget eik, primært sommereik *Quercus robur*, i SØ-Norge (Stokland 2009). Denne bekrefter prediksjonene fra den europeiske studien ved at dette treslaget forventes å få vesentlig større arealer med egnede vokseforhold fram mot år 2100. Under feltarbeidet til denne studien avdekket samtaler med skogeiere at foryngelse av eik er observert i helt nye områder hvor dette treslaget ikke har vokst tidligere. Dette viser at trærs naturlige ekspansjon ikke bare foregår opp mot tregrensen.

3.3.4 Treslagsskifte for redusering av risiko i et endret klima

Internasjonalt er treslagsskifte et av mest omtalte og diskuterte tiltak for tilpasning til et endret klima, med hensyn til reduksjon av risiko. I litteraturen diskuteres både introduksjon av fremmede treslag og treslagsskifte med hjemmehørende treslag. Den norske debatten og politikken med henblikk på fremmede treslag gjør at vurderinger rundt introduksjon av fremmede treslag har lite praktisk relevans for norsk skogbruk.

I den sørlige del av Sverige og Finland, der gran (jvf. 3.3.3) får dårligere vekstforhold med høyere skadefrekvens i et endret klima, har både vitenskapelig litteratur så vel som det praktiske skogbruket anbefalt mindre bruk av gran og treslagsskifte til lauv. Sørøst-Norge ligger i ytterkant av området der en kan forvente en økt frekvens av skader på gran, grunnet blant annet økte tørkeskader. Hvor relevant det er å vurdere treslagsskifte bort fra gran avhenger av hvilket klimascenario man legger til grunn, og bør vurderes i sammenheng med hvilke omløpstider som vurderes for grana.

I Norge har det så langt vært lite fokus på treslagsskifte for å redusere risiko, og det er for liten forskningsmessig bakgrunn til å gi bastante praktiske anbefalinger om treslagsskifte i en slik sammenheng. I stedet bør det gjennomføres ytterligere vurderinger av muligheter og konsekvenser av treslagsskifte som et klimatilpasningstiltak.

3.4 Ungskogpleie

Begrepet ungskogpleie omfatter både lauvrydding og avstandsregulering av hovedtreslaget.

3.4.1 Lauvrydding

Lauvrydding er et nødvendig tiltak der målet er å etablere eit bartrebestand med høy produksjon av tømmer av god kvalitet. Braathe (1984, 1988) sine «bar-lauv» forsøk som han la ut på 15 steder i Sørøst-Norge og i Trøndelag, har gitt oss informasjon om hvor mye en taper ved å ikke rydde lauv i granbestand på god mark. Etter hogst av gran ble det plantet gran på ca 1,5 meter forband og lagt ut i alt fem behandlinger med to gjentak i hvert felt. Et av forsøkene lå på svært høy bonitet (G23-G26) i Østfold. Der alt lauv var ryddet hadde grana ved siste revisjon i 2012 produsert 51 kubikkmeter tømmer per dekar av bra kvalitet i løpet av 39 år, der ingenting var gjort stod der 32 kubikkmeter bjørk og 8,4 kubikkmeter gran av dårligere kvalitet. Tilveksten i det rene granbestandet er fremdeles sterkt økende, mens den er på vei ned der det ikke ble ryddet. Med de avsetningsmuligheter og priser som det er på massevirke av lauv vil verditapet over et omløp på ca 60 år bli svært stort. Prisen på massevirke av bjørk/lauv må betydelig opp for at det skal bli lønnsomt å drive med bar/lauv i trevis blanding eller rene lauvbestand.

Når målet er å fjerne lauvoppslaget er det beste å gjennomføre ryddingen midtsommers (Haveraaen 1960), men Johannsson (1992) fant at rydding i oktober førte til høyest stubbedødelighet. Rydding i

hvilleperioden gjør derimot at mange flere stubber overlever og skaper nytt ryddebehov. Lav stubbing gir betydelig færre og noe kortere stubbeskudd (Kvaalen 1987, Johansson 1992). Dette letter arbeidet dersom det må ryddes flere ganger. På god mark vil det ofte være nødvendig å rydde flere ganger og da kan det være fordelaktig å bare fristille grana nok til at høydeveksten ikke hemmes (Granhus og Brekke 2004), men la det stå igjen så mye lauv at skytingen av nye stubbeskudd og etablering av nye frøplanter hemmes av lysmangel. Det vil redusere arbeidet ved påfølgende rydding. Tidsforbruket ved rydding øker med trehøyden og uttaksstyrken (Nyeggen og Øyen 2007). Sammen med produksjonstapet ved utsatt rydding, taler dette for at en på god mark i lavlandet med mye lauvoppslag kommer inn så snart etter planting at høydeveksten i grana aldri hemmes. Eventuelt rydder man flere ganger.

3.4.2 Avstandsregulering

Vestjordet (1959) definerte avstandsregulering slik: «Med avstandsregulering menes her en reduksjon av treantallet på et tidlig stadium i bestandets utvikling slik avpasset at flest mulig av de gjensatte trær får mulighet til å nå minste drivverdige dimensjon innen den første tynning». Ut ifra dette målet regnet Vestjordet seg fram til at en ikke burde sette igjen mer enn 2500 tre per hektar ved avstandsregulering.

Men mye har endret seg i skogbruket siden 1959, realprisen på tømmer har gått ned, helmekaniserte drifter med tilhørende høye kapital- og flyttekostander er nå helt dominerende. Alt dette påvirker selvsagt hvordan skogen kan drives og ikke minst hva som er optimal utgangstetthet. Et mer generelt mål med ungskogpleien /avstandsreguleringen er derfor å fristille et riktig antall av de beste treslagene og de beste trærne jevnest mulig fordelt på arealet (Braastad & Tveite 2000).

Hovedspørsmålet for ungskopleien er hva som er det gunstigste tretallet, med tanke på vekst, verdiproduksjon og bestandsstabilitet. Sagtømmer er og har nesten alltid vært bedre betalt enn massevirke. Derfor snakkes det ofte om at målet med ungskogpleien må være å etablere bestand som gir stor andel sagtømmer. Da er det viktig å være klar over at volumet av sagstokker i Norge stort sett beregnes etter toppmålsformelen og at denne gir en volumpremiering av stokker som har avsmalning mindre enn en centimeter per meter. Når det også er slik at ungskog med høy utgangstetthet gir trær med liten avsmalning og motsett innebærer dette at nedregulering av tretallet kan føre til at lavere sagtømmerandel og totalt sagtømmervolum. Fjerning av skadefrie trær tidlig i omløpet medfører en viss sannsynlighet for å tynne vekk betydelige volum med sagtømmer og senke nettoverdien per hektar.

3.4.2.1 Treantall og produksjon etter avstandsregulering

Utgangstettheten vil ha betydning for hvilke muligheter en har i ungskogpleien for å regulere treantallet. Gjennom avstandsreguleringen legger en grunnlaget for fremtidig volumproduksjon, samtidig som en kan ha mulighet til å favorisere trær med god kvalitet. Treantallet etter avstandsregulering vil imidlertid ha betydning også for risiko for snø- og vindskader, og avstandsreguleringen kan påvirke råteutvikling i bestandet.

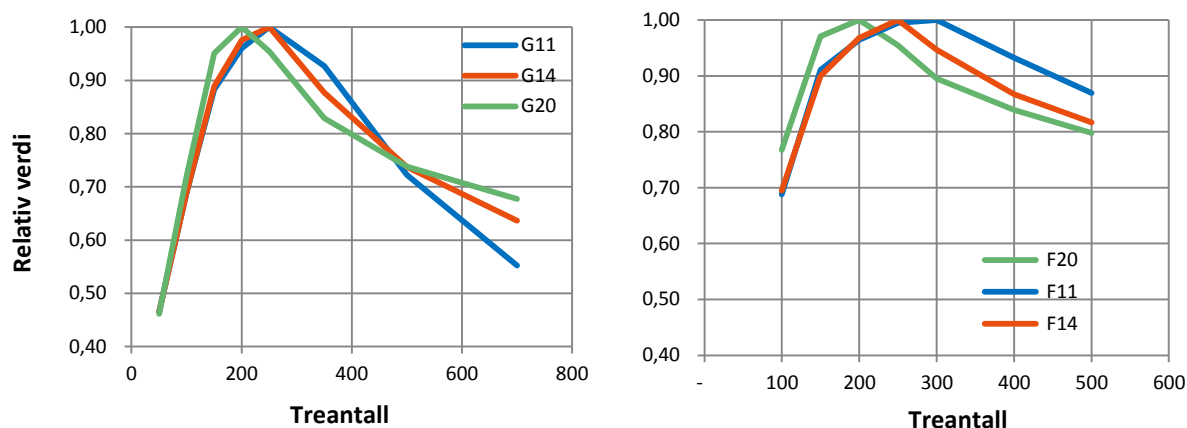
Nedregulering av tretallet vil som regel føre til tap av produksjon i gran (se også kapittel 3.2.6.). Dersom en gjennom planting har etablert et jevnt bestand i samsvar med hva som er tilrådd i kapittelet om plantetthet er det derfor liten grunn til å redusere tretallet fordi dette gir lavere volumproduksjon. Hensynet til å ha jevne bestand taler derimot for å regulere der en har tette partier av naturlig foryngelse, slik at minste avstand mellom trærne er 1.5 meter.

Forsøksfelt 0923, beskrevet av Braastad & Tveite (2000b) er et svært godt forsøk, med fire enkle behandlinger, regulering fra i overkant av 3000 trær per hektar til 2070, 1600, 1100 og 82. Der er jevne vekstforhold og fem, ett dekar store, gjentak av hver behandling. Feltet er det beste vi har for å

vise de produksjonsmessige konsekvensene av avstandsregulering. Ved siste revisjon i 2013 var feltet 64 år og stående volum i behandling 1600, 1100 og 820 var henholdsvis 10, 17 og 29 % lavere enn volumet i 2070. Tilveksten er fremdeles høyest i ledd 2070 slik at de andre behandlingene neppe vil ta igjen den tapte tilveksten noen gang.

Figur 9 viser at med en utgangstetthet etter avstandsregulering på 150-250 trær per dekar oppnår man minst 90 % av maksimal verdiproduksjon. Dette er derfor en god pekepinn på hvilken utgangstetthet man bør strebe etter i vanlige bestand. Dersom en har etablert et bestand med 2500 til 4000 trær per hektar på god mark er det altså neppe lønnsomt å skjære ned mange av dem, med mindre det er snakk om flekkvis innslag av naturlig foryngelse som står svært tett.

I et tynningsfritt skogbruk kan man følge samme mal som beskrevet over. Vi har ikke grunnlag for å anbefale en sterkere nedregulering enn til 150 trær pr dekar.



Figur 9. Verdiproduksjon ved forskjellig utgangstetthet og bonitet i gran og furu. Tallene for figuren er beregnet med skogsimuleringsprogrammet Gaya, som benytter standard funksjoner for å simulere veksten i et skogbestand (se for eksempel Ask et al 2005).

3.4.2.2 Avstandsregulering, skader og virkeskvalitet

I ungskogpleien kan en fjerne skadde trær, men fordi toppbrekk, rotrykking som følge av vind og mange andre skadeårsaker i stor grad er styrt av klimatiske forhold, kan en ikke hindre at nye skader oppstår utover i omløpet. I NIBIO sine feltforsøk både i gran og furu ser en svært stor variasjon i skadeomfang fra felt til felt, selv om de ligger i samme område. Å påvise effekter av avstandsregulering på skadeomfang er derfor vanskelig. Avgang er for øvrig behandlet i neste kapittel. Når det gjelder virkeskvaliteten påviste Klem (1934) at tømmer med liten avsmaling hadde mindre kvist, høyere densitet og generelt bedre kvalitet. Mange senere undersøkelser har i hovedtrekk vist det samme. Tettere skog vil derfor jevnt over produsere virke som gir sterkere trelast.

3.4.3 Betydning av tetthet for risiko for snø- og vindskader

Når det gjelder risikoen for snø- og vindskader har forløpet av bestandets tetthet gjennom dets liv helt avgjørende betydning. Høyest stabilitet mot slike skader oppnår vi ved å ha glissen ungskog og unngå tynninger. Et tres evne til å motstå vindfall og snøbrekk avhenger dels av dets egen stabilitet (enkelttre-stabilitet) og av dets naboskap av andre trær (sosial stabilitet). Et stort, djupt og tett rotsystem gir stabilitet mot rotvelt. Evnen til å motstå stammebrekk øker med treets diameter i tredje potens, og treets tilpasninger for økt stabilitet, dvs. strekk- og trykkved (tennar), eksentrisk vekst og elliptisk stammetverrsnitt. En rask bedømmelse i felt av enkelttre-stabilitet består av treets høyde, kronelengde og avsmalning. Generelt øker risikoen for trefall med økende trehøyde, avtakende kronelengde og avtakende D/H-forhold (Nykänen mfl. 1997; Nørgård-Nielsen 2001). Høy enkelttre-

stabilitet oppnår man ved å gi trærne god plass i ungskogfasen, av to grunner. For det første så øker diameter- og rotvekst øker med økende avstand mellom trærne, mens trærnes høydevekst er tilnærmet upåvirket av tettheten. Trær som står tett vil altså få samme høyde, men tynnere stammer og mindre rotsystem enn trær som står glissent. D/H-forholdet blir høyere desto glisnere trærne står, og et høyt forhold er derfor en indikator også på at rotsystemet er godt utviklet. Det er avgjørende at det er i ungskogfasen at trærne får god plass, dels fordi trærnes rotvekst er særlig stor i ungskogfasen, og dels fordi rotsystemets hovedarkitektur med noen hovedrotgreiner blir gradvis mer permanent fastlagt med økende alder (Nørgård-Nielsen 2001). Ved seinere tynninger får vi altså ikke den samme effekten. For det andre bli trærne til en vis grad herdet av å stå glissent og eksponert for vind. Trærne føler vind- og snøkreftene, og responderer på disse ved å få redusert høydevekst, økt diametervekst, kortere greiner, sterkere røtter, og reaksjonsved (tennar) og eksentrisk vekst i stamme og røtter (Telewski 1989; Telewski & Jaffe 1986). Sosial stabilitet er den andre hovedkomponenten i skogens stabilitet. Den utgjøres av at trærne skjærmer og støtter hverandre. Denne stabilitetsegenskapen er viktig i eldre skog. I en tett skog vil ved vind- og snø-påkjønning vil trærne bare kunne bøye seg noe før toppen finner støtte i et nabotre. I en skog har trærne ofte rotsammenvoksninger med nabotrær, og på denne måten har trærne i en tett skog delvis en felles forankring. En tett skog med et jevnt og lukket kronetak vil også forhindre vinden i å trenge ned mellom trærne og skape turbulens. En gruppe trær har denne stabiliteten, mens frittstående trær mangler den.

Det finnes imidlertid en del motsetningsforhold både i teorien og motstridende empiri når det gjelder sammenhengen mellom bestandstetthet, vind og faren for rotvelt. I Storbritannia har Gardiner m.fl. (1997) utviklet modellen *Forest Gales* for å beregne kritisk vindhastighet for stammebrekk og vindfelling som funksjon av ulike bestandsvariabler og vindstyrke. Modellen er bygget blant annet på måling av vindens moment på modelltrær i vindtunnel, på trær i forbandsforsøk og på nedvinsjing av trær av ulik dimensjon. Modellen sier at kritisk vindhastighet for å rotvelte et tre inne i bestandet øker med kvadratroten av treets masse og minker med gjennomsnittlig treavstand. Trærne blir større i glissen skog, men størrelsen øker ikke med kvadratet av avstanden. Etter denne modellen vil således tettere forband kunne ha høyere kritisk vindhastighet enn glissen skog, noe som også er rapportert. Fra plantet furu i New Zealand referer Sommerville (1980) flere eksempler på at tett skog har blitt mindre skadet av sterk vind enn glissen skog, men han gir også eksempler på det motsatte. Fire eksempler fra granskog i Nord Europa er relevante her. Etter store stormskader på en skogeiendom i Sør Sverige i 1967 ble det i 1983 anlagt forsøk med glissen planting, ca 1100 planter per hektar, for å redusere vindfallsrisikoen i forhold til konvensjonell plantetetthet som var 2500. Ved en inventering før første tynning ved ca 14 meters overhøyde fant Vollbrecht m.fl. (1994) at prosent stormskadde trær var signifikant høyere i den glisne forbandet enn i det tette. Etter at tynningen begynte har bildet endret seg slik at det totalt sett er noe mere skader det ble plantet tett (Stoltz 2016).

Fra Norge har Øyen (2001) rapportert at i forbandsforsøket i Molde som ble rammet av nyttårsorkanen i 1992 var det mer skader i 3-meter forbandet enn i de tettere forbandene. Sigbjørn Øen var på befaring i alle felt innen området som ble rammet av orkanen samme år. I forband 3 meter hadde 12 prosent av trærne rotveltet, mot bare 1 prosent i forband 1,5 meter. Denne skogen har aldri blitt tynnet. I siste revisjonsperiode har også andelen rotvelter vært høyest i 3 meter forbandet. Valinger og Fridman (2011) analyserte skadene etter stormen Gudrun med logistiske regresjonsmodeller og fant at med hensyn til bestandstetthet så økte sannsynligheten for stormfelling med avtakende tetthet, hvilket de antok kunne skyldes tynningseffekter. Albrecht m.fl. (2012) gjorde en tilsvarende analyse etter stormskadene i Tyskland og fant at både i gran og edelgran økte sannsynligheten for skade med fallende bestandstetthet. Men de fant også at skadeomfanget økte med økende høyde/diameterforhold. Quine m.fl. (1995) oppsummerte de motstridende funnene rundt tetthet og stabilitet på denne måten: «The effect of spacing on tree stability is a much disputed topic, but within the range of 1500-3000 planted trees ha⁻¹ there are no clear effects of initial spacing on future stand stability other than through the need for thinning.» Det er et klart behov for mer presis kunnskap om bestandstetthet og stabilitet i bestand av produksjonsskog.

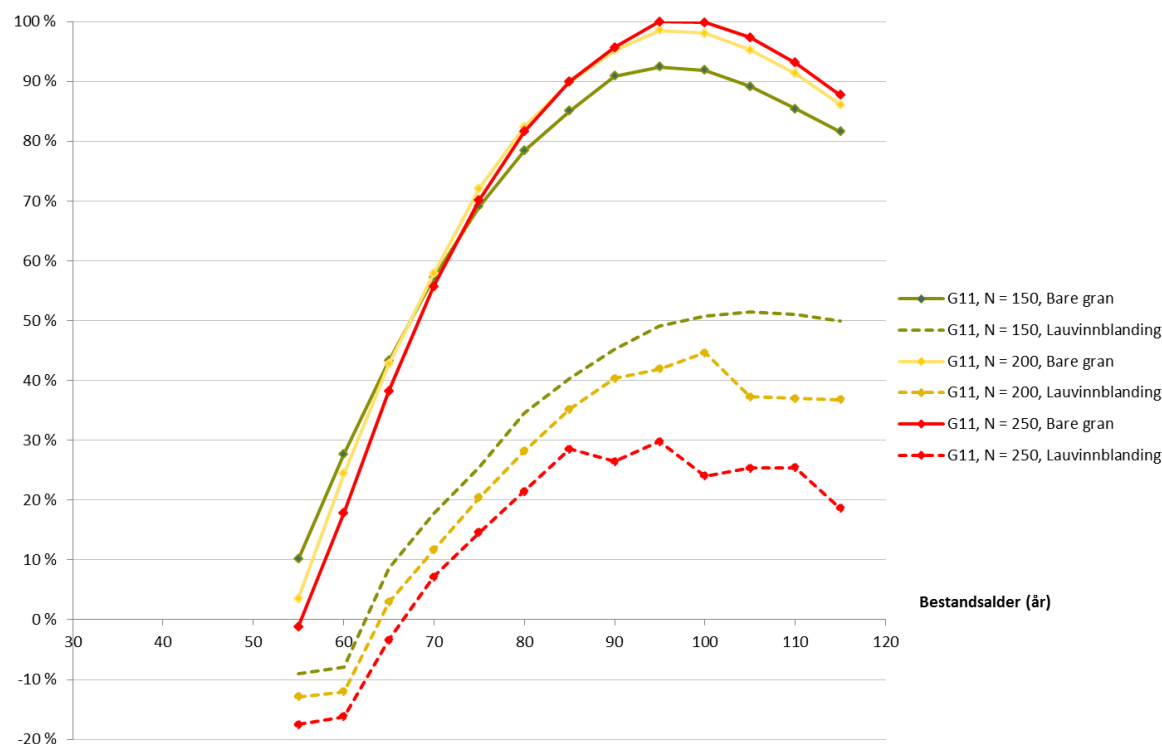
3.4.4 Betydning av avstandsregulering for råte

Også små stubbediametre utsettes for råteinfeksjon. I en studie i granskog ble rundt 1,5 % av stubbene med diameter rundt 2 cm infisert, mens hele 20 % av stubbene med diameter rundt 6 cm infisert (Bjøre 1995). En vet dessverre for lite om det skjer en videre spredning etter avstandsreguleringer, men en bør være oppmerksom på at det kan ha en betydning. Ved etablering av gran og furu i råteutsatte bestand bør treantallet være mindre enn i på bestand med tilsvarende bonitet og med lav råterisiko. Primærinfeksjon av bestand ved rotkjuke skjer via ferske stubbesnittflater og såringsskader - tidlig ungskogpleie vil minske risiko for stubbeinfeksjon pga. redusert stubbearealet og rask uttørking av små stubber. I tillegg, avstandsregulering før dannelselse av rotkontakter vil redusere sekundær spredning av rotkjuke via rotkontakter dannet mellom trær (Huse mfl. 2013).

3.4.5 Økonomi ved ungskogpleie

Som det allerede er vist over, gir nedregulering av treantall for hovedtreslaget normalt et verditap under normale forutsetninger for tømmerpriser og kostnader for inngrep og hogst. Effekten av lauvrydding er udiskutabel og svært viktig for å unngå verditap i et bestand.

Figur 10 viser et teoretisk eksempel på hvordan verdien påvirkes av treantall og lauvinnblanding. Tallene for figuren er beregnet med skogsimuleringsprogrammet Gaya, som benytter standard funksjoner for å simulere veksten et skogbestand (se for eksempel Ask et al 2005).



Figur 10. Relativ verdiutvikling som funksjon av alder for forskjellige plantetettheter med og uten lauvinnslag. Likt antall av hovedtreslag og lauv. G11. Fremkjøringer med Gaya.

3.4.6 Antall inngrep, tidspunkt og høyde ved inngrep

Det er særlig på god granmark at behovet for lauvrydding kan være stort, og der bør ryddingen gjøres så tidlig som mulig slik at granplantene ikke hemmes. Ved lauvrydding øker kostnaden med trehøyden, og sjansen for skader på hovedtreslaget øker med tida. Ungskogpleien bør derfor skje før

bestandet har nådd 5 meter (1-5 m høyde). En faktor som kan tale for å vente med avstandsregulering til ca 5 meter, er at forekomsten av høstskudd på gran, ofte med påfølgende toppskader, har økt kraftig på den beste marka i lavlandet nord til Trøndelag. Fordi en stor del av treets framtidige volum er i rotstokken, bør en på slik mark vente med å redusere tretallet slik at en får flest mulig skadefrie fremtidstrær.

I noen tilfeller vil det være behov for to inngrep. Dette gjelder for eksempel når lauvskogen hindrer bartreplantenes vekst i de første årene etter planting. Nytt lauvoppslag kan gjøre det nødvendig med et nytt inngrep senere. Et annet eksempel er ved svært tette naturforyngelser i furu, der en løser opp i tettheten og fjerner trær med dårlig kvalitet ved høyde 1-1,5 m. Den endelige fristillingen gjøres senest ved 5 meter. For øvrig henvises til standard for ungskogpleie for Hedmark og Oppland (Øvergård 2017).

3.5 Tynning

3.5.1 Effekter av tynning på skogproduksjon

Formålet med tynning er å flytte produksjonen over på de beste trærne jevnt fordelt på arealet og på det treslaget som er best egnet. Trær med lavere prioritet tas ut og de beste står igjen. Selve totalproduksjonen blir lavere, men tilveksten flyttes over på trærne med best kvalitet.

Middeldimensjonen øker med tynning og dermed blir også sagtømmerprisen man normalt oppnår noe høyere. Vi får 10-15 % økt middeldiameter på de 500 grøvste/ha, og kanskje 20 % økt diameter på de 100 grøvste/ha som effekt av tynning (Braastad & Tveite 2001, Øyen 2003 m.fl.). I tillegg vil driftsprisen også gå ned med økt middeldimensjon.

Tynning er et skogbehandlingstiltak som utføres for å forme skogen i en ønsket retning. De trærne som hogges tas ut og nyttiggjøres. Tiltaket er primært ment å øke verdien av trærne som står igjen på lang sikt, og gi en samlet økt inntekt fra skogen inkludert salg av tynningsvirke. I dag er andre formål enn å øke den samlede inntekt vel så aktuelt, f.eks. økt stabilitet, leveranse til bioenergi m.m. Tynning er utover etableringen det viktigste styringsinstrument til å forme skogen.

Effekten av tynning på skogproduksjon har det vært forsket på i mer enn hundre år, og anbefalingene har vært endret mange ganger. Dels har endringene vært begrunnet pga. forstlige teorier og skogskjøtselmetoder (f.eks. dimensjonshogst vs. bledning vs. lavtynning vs. høytynning vs. fri tynning), dels pga. økonomiske forutsetninger (f.eks. pris på arbeidskraft vs. tømmerpris), dels pga. teknikk og metode (hest, maskiner og maskinutvikling, stikkveier). En viktig konklusjon ved tynning er at den samlede totalproduksjonen går noe ned. Men, ved tynning får man tatt ut trær som likevel går ut i selvtynning samt at man får overført produksjonen på de beste trærne. Ved sluttavvirkning får man vanligvis en høyere rotnetto i tynnete bestand enn i utynnete. Dette forutsetter at tynning medfører høyere kvalitet og reduserte driftskostnader.

I første halvdel av 1900-tallet var oppfatningen at tynning økte nivået på volumproduksjon, sammenlignet med utynnete bestand ved høy tetthet. I tillegg ble det antatt at årlig volumproduksjon var konstant men hadde et optimum selv ved ulik bestandstetthet. Flere teorier for effekter av tynning på volumproduksjon ble undersøkt (Langsæter 1941, Wiedemann 1932, Møller 1954, Assmann 1970, Curtis et al 1997, Zeide 2004, Reineke 1933). Pretzsch (2005) påpeker at lav til moderat tynning kan optimere forhold mellom salgbart volum og den relative bestandstetthet (SDI). Nilsson et al. (2010) viser at volumproduksjon av furu og gran i Sverige øker med økende grunnflate, men at tynnete bestand kan ha større volumproduksjon enn utynnete når den relative grunnflaten er større enn 70%. Andre forskere påpeker det motsatte; at produksjonen avtar ved tynningsinngrep (Braastad og Tveite 2000a, Øyen 2003).

Det praktiske tynningstiltaket utføres av skogeier eller entreprenør, men både metode og mal for sammenligning og anbefaling (ønsket resultat av tynning) varierer noe. Noen tar utgangspunkt i treantall og høyde (f.eks. Viken Skog), andre i grunnflate m²/ha (f.eks. Glommen Skog), men det er også mulig å kombinere ulike metoder. Skogbrukets kursinstitutt (Skogkurs.no) anbefaler å benytte grunnflatesum som rettesnor fremfor treantall. I Sverige kombineres grunnflate og overhøyde i hovedmalen samt at det indikeres grenser for uttaksstyrke og treantall etter tynning (Jacobsson 2008). Men selve resultatet av inngrepet trenger ikke avvike nevneverdig fra hverandre, selv om ulike maler og metoder er benyttet.

3.5.2 Betydning av klimaendring

Det er forsket lite på hvordan tynning påvirker skogproduksjonen ved klimaendringer. I en studie av gran, furu og bjørk fant Briceño-Elizondo et al. (2006) at en økning i temperatur og nedbør sammen med et høyere CO₂-nivå kan øke produksjonen i disse skogtypene med 24 til 53 %. Tynning førte derimot til redusert totalproduksjon, sammenlignet med utynnede bestand. Dette er også funnet for nordiske skogforhold i Finland (Mäkinen og Isomäki 2004a, 2004b) og antyder at klimaendringer ikke fører til at produksjon i tynnede bestand øker mer enn utynnede bestand.

Klimaendring kan ha både positive og negative effekter på nivået av bestandets volumproduksjon. Dette pga. at en økning i temperatur faller sammen med økt nedbør over Skandinavia, noe som dermed kan gi økt tilvekst. Men høyere temperaturer kan også føre til tørke, som påvirker skogproduksjonen negativt. Er grunnvannet rikelig vil ikke mindre tørkeperioder påvirke skogproduksjonen vesentlig (Bosela mfl. 2016). Men på arealer med lite tilgjengelig grunnvann, kan tette skogbestand være utsatt for selvtyning (Ma et al. 2012, Zhang mfl. 2015).

3.5.2.1 Klimascenarier og effekter av skogbehandling og tynning

Et mulig scenario ved tørkestress (uten at det er dokumentert) er at i utynnede bestand der det er generelt høyere konkurranse og stress, vil mortalitet/reduert tilvekst øke mer enn i tynnede bestand der svake trær er tatt ut og det er gitt bedre vekstvilkår for de beste trærne. Denne hypotesen er viktig å undersøke for å kunne angi riktig skogbehandling og tynningsregime for fremtidens norske skoger.

Som tidligere nevnt vil behovet for en aktiv skogbehandling antagelig være større i et fremtidig endret klima, fordi dagens skog er tilpasset et klima som bare har hatt mindre og langsomme endringer over flere hundre år. De klimaendringer vi observerer i dag skjer mye raskere og sterkere enn tidligere og det tar tid for trærne og arter å tilpasse seg dette. Hvilke treslag og skogtyper overlever best, og på hvilke arealer vil de ulike typene ekspandere eller reduseres?

Normalt vil tynning med en reduksjon av tettheten og uttak av svake trær forsterke de gjenstående trærne. Men et høyt tynningsuttak kan øke risikoen for stormskader. Derimot gir ingen tynning også stor risiko.

I et endret klima bør antagelig tynning utføres ved et litt tidligere tidspunkt, f.eks. 1-3 m lavere overhøyde, og vindutsatte områder bør i enda sterkere grad prioriteres. To små tynningsuttak gir mindre stabilitetssjokk enn en sterk tynning og anbefales i slike områder. Tynning bør skje ved kaldt vær (<+5 °C) pga. færre råtesporer i lufta.

3.5.3 Tynning i blandingsbestand

Forskning og anbefalinger er mest basert på renbestand eller majoritetstreslaget. I blandingsbestand av f.eks. gran og furu er det usikkert om det blir det samme effekt på volum og dimensjonsfordeling

som ved renbestand. Agestam (2012) påpeker viktighet av voksested og bonitet, der gran prioriteres på de beste voksestedene.

Ved innblanding med bjørk i gran og furu må bjørka tas ut tidligere pga. kortere omløpstid. Bjørk må ha mer lys og lavere tetthet skal denne beholdes i blandingsbestandet. Bjørk vokser raskere enn gran de første åra, mens gran tåler stå i skyggen. Forskning viser at man kan tynne ved å ta ut bjørka ved f.eks. 30-35 års alder og la grana vokse videre til sluttavvirking

3.5.4 Tynningsmal og tynningsmetoder

Det er behov for en modernisering og samling av ulike norske tynningsmaler til en felles mal i et interaktivt webbasert program (jf. svensk modell).

Den økonomiske effekten av tynning kan også inkluderes i tynningsmalene. Hittil har hovedfokus vært på å tilrettelegge for stabil skog og høy avkastning på stammevolum og sagtømmerkvalitet. Men ved å inkludere f.eks. driftskostnader, dimensjonsfordeling og salgspris av tømmer kan rotnetto beregnes og dermed bedre beslutningsgrunnlaget for hvilke skogbehandlingsprogram som er best egnet.

3.5.4.1 Tynningspraksis - status i Norge

Tynningspraksis varierer mye i ulike deler av landet. På Sørlandet, Vestlandet og i Trøndelag utføres det lite tynning i gran, mens noe tynning utføres i furu. På Østlandet utføres det tynning i noe større grad der f.eks. 10 % av hogstkvantumet utgjøres av tynningsvirke i følge noen av aktørene. Glommen Skog rapporterer om en noe høyere tynningsandel på 15-20 % de siste årene, som fordeler seg omtrent likt mellom 1. og 2. gangs tynning. Trøndelag og i Nord-Norge utføres det også lite tynning, særlig i gran. Andelen tynning er høyest for furu, og her er det også flest 2. gangs tynninger. Den mindre andelen av tynning her begrunnes med hensynet til økonomi, vanskelig driftsterreng, at effekten på middeldiameter og kvalitet er ikke stor nok, og antagelser om mer skader og råte og en noe lavere totalproduksjon ved tynning kontra ikke tynning.

Til sammenligning utføres det en betydelig høyere tynningsandel i Sverige, der ca 30 % av avirkningen er tynning. Sverige har imidlertid en mye større andel med lett terreng og har også mer tradisjon og kultur for tynning og entreprenører som kan dette.

3.5.4.2 Bestandets utgangspunkt, tidspunkt, antall tynninger og potensiale for tynning

Det er utarbeidet flere maler for når, hvor sterkt og hvor ofte en bør tynne (f.eks. Skogkurs samt flere skogeierforeninger). Et skogbestand bør i utgangspunktet være stelt og ha gjennomgått en form for ungsogpleie eller rydding på forhånd slik at bestandet tåler et tynningsinngrep. Er bestandet ustelt kan et tynningsinngrep blant ustabile trær gjøre vondt verre, og bli et så stort sjokk for trærne at deler av bestandet kan bryte sammen eller får høy selvtynningsgrad i flere år etterpå. Forskning viser at bestandet ikke bør tynnes ved større høyder enn 20 m, men mange praktiserer en enda lavere maksgrense. Første gangs tynning anbefales ved 12-14 m overhøyde, mens andre gangs tynning ved 16-18. Det tynnes mest to ganger i furu, mens gran tynnes bare en gang om den tynnes.

Et bestand er ustabil de første årene etter en tynning, og kan f.eks. brytes ned av snø eller bli utsatt for stormskader. Dette bl.a. på grunn av at den sosiale støtten for enkelttrær blir brutt ned og må bygges opp igjen ved at trærne får større kroner m.m. I tillegg blir også jordsmonnet uroet ved tynningsinngrep, og her er grunne jordsmonn ekstra utsatt for avflerring.

I tillegg har det stor betydning for økonomien ved tynning om bestandet har gjennomgått en ungsogpleie. Blir det for tett med uønskede dimensjoner og mye kratt vanskeliggjør dette sikten, og øker tidsbruken og treantallet/m³, noe som til sammen reduserer økonomien ved tynning.

Det anbefales ikke å ta ut mer enn halvparten av treantallet og ikke mer enn 30 % av volumet av hensyn til stabilitetsfaren. Av hensyn til driftsprisen bør ikke treantallet ligge lavere enn ca 15 trær/m³ – ellers blir det driftskostnaden for høy.

3.5.4.3 Tynning eller ikke tynning

Det er ulike begrunnelser for at en del aktører i Norge velger å ikke tynne, og heller gjøre en noe kraftigere ungskogpleie. Hensynet til arealtype og økonomi veier tungt. I bratt og vanskelig terreng blir driften dyr og medfører at kostnaden med tynningen lett overstiger inntekten fra virkessalget. Flere norske undersøkelser peker på at gevinsten ved tynning er liten, med lavest totalproduksjon der det er tynnet, og at en høyere middeldiameter og dermed bedre kvalitet ikke oppveier dette produksjonstapet (bl.a. Braastad & Tveite 2000a, Øyen 2003). Andre undersøkelser fra Sverige og Finland peker på at særlig granbestand ikke er så følsomme for produksjonstap ved tynning (Mäkinen & Isomäki 2004a, 2004b, Nilsson et al 2006). Andre fordeler og ulemper ved tynning (råtefare, stormstyrke, kvalitetsproduksjon, prispremiering store dimensjoner, omløpstid m.m.) har vi påpekt andre steder.

Har bestandet kommet for langt, f.eks. blitt høyere enn 20 m, eller at det er ustelt uten ungskogpleie vil det i mange tilfeller være for høy risiko til at det tåler et tynningsinngrep. I stormutsatte bestand anbefales ikke tynning etter ca 14-15 m overhøyde (Solberg m.fl. 2017, Bøe 2014). Driftskostnader og virkespris har som nevnt også betydning. Som nevnt flere steder i dette kapittelet er det behov for å samle kunnskapen i en webbasert beslutningsmodell.

På Vestlandet viser forskningsresultater at bestandet tåler en noe høyere tetthet.

Tynning ligger best til rette der det er noenlunde lette driftsforhold, man har god slippris og et gunstig klima. Og videre for at tiltaket skal være lønnsomt eller kunne gå i balanse, må det også være entreprenører som har en kultur for at tynning skal utføres. Er økonomien med tiltaket dårlig, får man heller ikke tak i tilgjengelige entreprenør heller.

3.5.4.4 Tynningsfritt skogbruk

De praktiske erfaringene med tynning som vi har hatt i Norge de siste årene viser at det satses på mer eller mindre tynningfri bestandspleie i flere regioner, særlig i gran. Som nevnt ovenfor vil tilgjengeligheten på entreprenører som kan og vil utføre tynning også ha stor betydning særlig i distrikter der lønnsomheten i tynning er dårlig. Det betyr også mye om det er en kultur og tradisjon for dette skogbehandlingstiltaket, f.eks. om skogeierforeningen og entreprenører har såpass positive erfaringer at tynning blir anbefalt og tilrettelagt. Har det først gått av «moten» er det få som kan og har utstyr for tynning og det blir vanskelig å få i gang tynning igjen uten insentiver.

Driftskostnaden og prisen på tynningsvirke har også stor betydning for om det lønner seg å tynne eller ikke. Lave massevirkepriser kan i mange tilfeller ikke matche driftsprisen frem til industritomt. Blir tynningen en utgift med negativ netto sier det seg selv at denne type skogbehandling blir nedprioritert.

Fahlvik (pers.med. 2017) har analysert effekten av tynningsfritt skogbruk i Sverige og konkluderer med at tynning gir en positiv rotnetto sammenlignet med urørt. Den samme konklusjonen fremkommer også i en sammenligning av tynningsforsøk i Sverige. Det økonomiske resultatet er omtrent 20 % lavere i gran for urørt sammenlignet med det mest gunstige tynningsalternativet (Agestam 2015). I furu er effekten mindre.

Som nevnt foran er det risiko både ved å tynne (tynningsskader samt ugunstig stabilitet de første årene) og ved å ikke tynne (ustabilitet, redusert kvalitet, mortalitet m.m.). I et endret klima kan den positive eller eventuelt negative effekten av tynning i skog bli sterkere. Men i et «villere» klima kan behovet for tynning mange steder øke for å forsterke stabiliteten i fremtidas skog i Norge der trærne opp gjennom flere hundre år har vært tilpasset et «snillere» klima.

Et alternativ i tynningsfritt skogbruk er å gå inn med en noe senere avstandsregulering og så la skogen stå frem til sluttavvirkning. F.eks. kan reguleringen utføres ved fem meters høyde, og så vil naturlig selvrynning normalt føre til at de svakeste trærne går ut senere i omløpet. Se for øvrig kap. 3.4.2.1. om ungskogpleie.

Dersom man foretar en kraftig avstandsregulering kan dette innebære høyere risiko og noe lavere kvalitet med sterkere avsmalning og kvistsetting, mens tynningskostnaden og risikoen for skader ved tynningsinngrep uteblir. Når man vet at produksjonen også blir noe lavere i tynnede bestand er det ikke sikkert at økt kvalitet og høyere salgspris kan forsvare et tynningsinngrep i områder der driftskostnadene er høyere enn prisen for tynningsvirke. Både Braastad & Tveite (2001) og Øyen (2003) rapporterer om en betydelig avgang også i tynnet skog, men avgangen øker mest i utynnet skog jo eldre skogen blir (Andreassen 2017). Den økte avgangen og økt risiko for sammenbrudd i utynnet skog i hogstklasse 4 og 5 gjør at tidspunktet før sluttavvirkning bør fremskyndes i en periode av bestandets liv da verditilveksten er størst. I tynnet skog har man mer fleksibilitet og mulighet for forlenget omløpstad og økt verditilvekst.

Foreløpige resultater fra langsiktige feltforsøk viser et produksjonstap dersom man ved tynning eller nedregulering kommer lavere enn ca 1600 trær/ha. Nedregulering til f.eks. 1200 trær/ha ved 5-15 m overhøyde kan gi 10-20 % produksjonstap i volum. Dette indikerer at man i et tynningsfritt skogbruk ikke bør nedregulere så mye at man kommer særlig lavere enn 1600 trær/ha ved slike overhøyder. Ved sluttavvirkning vil treantallet likevel bli betydelig lavere pga. selvtynning og treantall på under 1000 trær/ha er ofte normalt der det er utført tynning avhengig av voksestedsforhold (bonitet m.m.). Dette er også i tråd med Braastad & Tveite 2001 og Øyen 2003. Ulempene ved tynningsfritt skogbruk skal som nevnt foran ikke underslås, men metoden er absolutt en god mulighet der driftskostnadene ved tynning er høye. Hva man vinner og taper i produksjon, rotnetto og verditilvekst ved ulike tynning/tynningsfritt er viktig å få kartlagt, og effekter av slike tynningsinngrep bør analyseres mere.

3.5.4.5 Metode

Vanligvis benyttes maler som utgangspunkt for tynningsbehov. Man tar da utgangspunkt i bestandets tilstand mht. tetthet ut fra grunnflate (m^2/ha), overhøyde og treantall og prøver å tynne ut slik at gjenstående tetthet samsvarer med anbefalingen. Når treantallet reguleres ned til ønsket nivå benyttet hyppigst fri tynning, dvs. man lar de beste trærne mht. kvalitet stå igjen samt at man tilstreber en jevn fordeling uten for mye hensyn til dimensjon/høydeklasse.

Det benyttes vanligvis litt mindre maskiner til tynning enn de som går i sluttavvirkning. Slike maskiner gjør mindre skade på terreng og gjenstående trestammer og røtter, og vil også etterlate seg smalere stikkveier. Tynningen utføres enten via systematiske stikkveier, eller ved bestandsgående maskiner som snor seg mellom trestammene uten at det lages skjematisk stikkveinett. Blir det for stor avstand mellom stikkveiene vil det bli et parti i midten som ikke blir tynnet. Og ved skjematisk stikkveier blir alle trærne i selve stikkveien tatt ut inkludert de som har høy kvalitet og som burde stått. Ut fra et faglig ståsted vil bestandsgående maskiner ha en fordel, men her må totaløkonomi vurderes.

I sommersesongen anbefaler mange at det benyttes Rotstop når temperaturen blir over 5 °C. Eventuelt kan også urea benyttes for å unngå infeksjoner av råtesporer.

3.5.5 Tynning og råte

På råteutsatte bestand er redusering av tynninger eller sein tynning aktuelt siden spredning av rotkjuke på bestandet via rotsystemet skjer 2-3 ganger fortere i det døde rotsystemet til stubber enn hos levende røtter med aktive forsvarsmekanismer.

Siden fjerning av rotkjuke fra infiserte gran- og furubestand er meget utfordrende, er det helt vesentlig å satse på forebyggende tiltak. Vinterhogst i perioder med snø og frost i bakken reduserer både smittefaren på stubber og sårskader på gjenstående trær. Bruk av stubbebehandling (urea, Rotstop) ved sommerhogst og hogst i milde vinterperioder forhindrer etablering av rotkjuke. Stubbebehandling er først og fremst et forebyggende tiltak for å redusere smittefaren på friske stubber da behandlingen ikke fjerner rotkjuke fra stubbene hvor soppen allerede er etablert. Det er tvilsomt hvorvidt

stubbebehandling lønner seg på bestand med høy råtefrekvens men siden det er vanskelig å estimere råtefrekvens i et bestand på forhånd, er rutinemessig bruk av stubbebehandling aktuelt for å redusere generelt infeksjonstrykk. I den finske utredningen om påvirkninger av klimaendringer for skogens helse ble det konkludert med at bruk av stubbebehandling burde økes i hele landet, også i regioner som begrenser seg til nåværende utbredelsesområder til rotkjuke (Müller mfl. 2012). I Finland og Sverige har stubbebehandling blitt praktisert først og fremst ved tynninger av granbestand. Svenske forskere har beregnet at i sørlige deler av landet er stubbebehandling lønnsomt også ved slutthogst av gran på høy bonitet (G26 eller høyere) (Thor 2011). Likevel blir det foreløpig lite brukt. I Finland har kontrolltiltak mot rotkjuke vært lovregulert siden 2016. I Sør- og Sentral-Finland er det bl. a. obligatorisk å bruke stubbebehandling ved tynninger og slutthogst av gran- og furubestand utført i sommer og milde vinterperioder. Behandling skal gjøres hvis stubbediameter er over 10 cm. Stubbebehandling blir lite brukt i Norge sammenlignet med Sverige og Finland (Hietala mfl. 2016b). Det er ikke klart hvorvidt dette skyldes ekstrakostnader ved maskininvesteringer og til selve behandlingen, manglende kunnskap eller holdninger hos forskjellige aktører innen skogbruk.

3.5.6 Kunnskapshull/forskningsbehov

- Det er mer behov for forskning på fordelingen av dimensjoner og andelen som går til selvtynning med og uten tynning.
- Hvordan påvirker tynning vs ikke tynning tømmerkvalitet, mortalitet, forkortet eller forlenget omløpstid, middeldimensjon, driftskostnader.
- I hvor stor grad har driftskostnader betydning (vanskelig/lett terreng, ulik middeldimensjon)
- Vil andelen biomasse som kan tas ut øke i et endret klima?
- Vil selvtynning (mortalitet) i et endret klima oppføre seg annerledes enn det nåværende empiriske modeller basert på et historisk klimaregime viser?
- Har tynning betydning for redusert transpirasjon i tørkeutsatte områder - f.eks. lavereliggende strøk på Østlandet? Kan tynning redusere tørkestress?
- Skadefrekvens ved tynning – gjør man vondt verre ved å gå inn med store maskiner og «pleie» skogen – blir skadeandelen og dermed råtefaren større eller mindre på lang sikt selv om skadde og mindreverdige trær tas ut?
- Størrelsen på produksjonstapet ved stikkveibasert tynning? F.eks. blir også gode fremtidstrær tatt ut i stikkveien.
- Våre tynningsmaler er basert på et annerledes regime der høy kvalitet og nyttbart stammevolum har vært målet. Kan tynningsmalene bør gjøres mer fleksible der ulike mål inkluderes. F. eks. best & størst stammevolum (i), størst biomasse (ii), redusert risiko for selvtynning og kalamiteter (storm/snø/klima, insekter, sopp) (iii). Utføre en modernisering og samling av ulike tynningsmaler i et interaktivt webbasert program (jf. svensk modell).
- Den økonomiske effekten av tynning kan også inkluderes i tynningsmalene. Hittil har hovedfokus vært på å tilrettelegge for stabil skog og høy avkastning på stammevolum og sagtømmerkvalitet. Ved å inkludere f.eks. driftskostnader, dimensjonsfordeling og salgspris av tømmer kan rotnetto beregnes og dermed bedre beslutningsgrunnlaget for hvilke skogbehandlingsprogram inkludert tynning som er best egnet.

3.6 Gjødsling

3.6.1 Gjødseiltyper, dosering og gjødslet areal

I norsk skog på fastmark er tilgang på nitrogen (N) den enkeltfaktoren som i størst grad begrenser trærnes vekst (Nilsen 2001). Fosfor og kalium gitt sammen med N kan gi en tilleggseffekt i (yngre)

granskog (Nilsen 2001, Nohrstedt 2001, Røren og Eikeland 1995). N-gjødsling kan føre til bormangel i skog i innlandet, der borinnholdet i nedbøren er lavt. Vanlig skogsgjødsel er derfor tilført litt bor.

Gjødsling med ammonium-N har en forsurende virkning. Derfor skal skogsgjødsel inneholde kalk, som motvirker forsuringen. En vanlig brukt gjødseltype som Yaras Opti-KAS Skog inneholder 27 vektprosent nitrogen (halvparten som nitrat og halvparten som ammonium), og i tillegg kalsium, magnesium og litt bor.

Økende dose nitrogen gir økt effekt på tilveksten, inntil et visst punkt. Petterson (1994) fant en nærmest lineær effekt av økende dose mellom 5 og 25 kg N per dekar på lav og middels bonitet. På god bonitet var det ikke noen særlig tilleggseffekt av doser over 15 kg per dekar. Brantseg mfl. (1970) fant en større tilvekstøkning når N-mengden økte fra 5 til 10 kg per dekar enn fra 10 til 15 kg per dekar. Ut i fra slike studier om tilveksteffekten, og at faren for avrenning øker med økende tilførsel, er den vanlige dosen som brukes ved gjødsling i Norge 15 kg N per dekar (150 kg per hektar), eller om lag 55 kg Opti-KAS Skog per dekar. Med denne dosen kan man forvente en økt tilvekst på 0,1-0,2 m³ per dekar og år i 6-10 år, eller rundt 1,5 m³ «ekstra».

På 2000-tallet har årlig gjødslingsareal i skog ligget lavt i Norge, ca. 5-10 000 dekar i året (Miljødirektoratet mfl. 2014). Innføringen av et ekstra tilskudd til gjødsling som klimatiltak førte til at arealet økte til drøyt 80 000 dekar i 2016. Til sammenlikning ble det i Sverige i gjennomsnitt gjødslet 520 000 dekar årlig mellom 2009 og 2013 (Skogsstyrelsen 2014).

3.6.2 Aktuell skog og effekter under ulike forhold

All skog er ikke verd å gjødsle. Noen skogtyper er naturlig rike på nitrogen, slik at de ikke reagerer noe særlig på ekstra tilførsel, mens på de fattigste skogtypene blir tilvekstøkningen for liten til at gjødslingen lønner seg. Her kan det også være andre faktorer som vanntilgang eller klima som begrenser veksten, og ikke næringstilgangen. Gjødslingseffekten er best, og faren for avrenning minst, på midlere barskogsboniteter/middels rike vegetasjonstyper med podsolprofil (se for eksempel Kukkola og Saramäki 1983).

I følge Norsk PEFC skogstandard er det tillatt å gjødsle på vegetasjonstypene blokkebær-, bærlyng-, blåbær-, småbregne- og storbregnemark. Det er også tillatt å gjødsle torvmark med etablert foryngelse. Ved gjødsling på torvmark må skogen være grøftet for at tiltaket skal ha god effekt, og det er ofte mangel på fosfor og kalium heller enn nitrogen som begrenser veksten. Å gjødsle med treaske kan gi en god tilveksteffekt på torvmark (Augusto mfl. 2008). Pr. i dag er det ikke tillatt å spre aske i skogen, men «Forskrift om gjødselvarer m.v. av organisk opphav», som regulerer dette, er under revisjon. I det følgende diskuteres bare 'standard' skogsgjødsling med nitrogen.

Lauvtrær får bare en beskjeden og kortvarig tilvekstøkning etter gjødsling, derfor skal hovedtreslaget være furu eller gran.

Bestandene bør ha full tetthet slik at de utnytter den tilførte næringen best mulig, og de bør være veksterlige og friske med trær som kan gi virke av god kvalitet. Ofte vil dette gjelde tynnede, velstelte bestand. De første årene etter tynning kan bestanden være mer utsatt for vindfall og snøbrekk, samtidig som inngrepet vil gi en viss gjødslingseffekt fra hogstavfallet. Man bør derfor vente noen år etter tynning før man gjødsler.

For skogeieren er det mest interessant å gjødsle de arealene som gir best lønnsomhet av investeringen. Hensikten er å øke diametertilveksten på trær av god kvalitet, slik at verdien av bestanden øker. Man ønsker altså både en volumtilvekst og en verditilvekst, det vil si at det økte volumet også gir en økt pris per kubikkmeter. Bestand som begynner å nærme seg hogstmodenhet kommer godt ut økonomisk, fordi det da er kort tid fra investeringen gjøres til man kan ta ut gevinsten. Hogstklasse IV er slik sett mest aktuelt å gjødsle. I furuskog kan det også være aktuelt å gjødsle yngre hogstklasse V, dersom

trærne kan komme opp i mer verdifulle sortimenter etter gjødsling. I granskog er dette mindre aktuelt da faren for råte og vindfall er større her, samtidig som prisspenningen er mindre og det dermed ikke er like mye å hente av verdistigning. Det er viktig at skogen ikke avvirknes før gjødseleffekten har gått ut, etter 8-10 år.

Gjødsling av yngre skog vil ofte gi god effekt på tilveksten, men fordi det er lengre tid fra investeringen foretas til inntekten foreligger, vil tiltaket ha dårligere lønnsomhet og dermed ikke prioriteres like høyt ut i fra et økonomisk synspunkt (se også punkt 3.6.4.).

Oppsummert kan følgende punkter brukes til å velge bestand egnet for gjødsling på fastmark:

- Vegetasjonstyper: blokkebær-, bærlyng-, blåbær-, småbregne- og storbregnemark (jfr. Norsk PEFC Skogstandard)
- Middels til gode boniteter (ca. F/G 11 til 17)
- Podsolprofil
- Minst 80 % av trærne er bartrær
- Full tetthet, og sunne trær med god kvalitet (gjerne tynnet)
- Ingen avvirkning de neste 10 år

3.6.3 Ungskoggjødsling – forkorting av omløpet

Gjødsling av yngre skog kan som nevnt over gi god effekt på tilveksten (Hanssen og Kvaalen 2017, Nilsen 2001, Røren og Eikeland 1995). Dersom målet er å produsere mest mulig biomasse og forkorte omløpstiden, kan gjentatt gjødsling av ungskog være en vei å gå. Bergh mfl. (2005) viste at ved optimalisert gjødsling gjennom omløpet kan omløpstiden forkortes med 10-30 år i Sør-Sverige og 30-60 år i nord. Selv med økt produksjon og kortere omløpstid er det sannsynlig at økonomien blir dårligere enn ved gjødsling av bestand få år før hogst (Jacobson og Pettersson 2010, Nilsson og Fahlvik 2006). Faren for avrenning og økt påvirkning av andre naturressurser øker også med total gjødslingsdose, slik at både den økonomiske og miljømessige risikoen kan være større ved intens gjødsling (Hedwall mfl. 2014).

3.6.4 Mål

Rapporten «Mållrettet gjødsling av skog som klimatiltak» (Miljødirektoratet mfl. 2014) anslo et årlig potensielt gjødslingsareal på 50 000 – 100 000 dekar, inkludert en sone i S-Norge med spesielle miljøhensyn på grunn av faren for redusert vannkvalitet. Dette anslaget omfattet vegetasjonstypene blokkebær-, bærlyng- og blåbærskog. I ettertid har Norsk PEFC Skogstandard også åpnet for gjødsling i vegetasjonstypene små- og storbregneskog. Dette vil øke de potensielle arealene med anslagsvis 20 %, slik at årlig areal blir 60 000 – 120 000 dekar. Dersom omfanget av gjødslingen de kommende årene holder seg på nivået fra 2016, 80 000 dekar, holder man seg godt innenfor dette målet.

3.6.5 Kunnskapshull

Pr. i dag har vi ikke norske gjødslingsmodeller som nøyaktig kan predikere effekten av gjødsling på skogproduksjonen ut fra bonitet, vegetasjonstype, høyde over havet eller andre kjennetegn ved voksestedet, ut over de faktorene som er nevnt i avsnitt 3.6.2.

I rapporten til Miljødirektoratet mfl. (2014) trekkes det i tillegg fram en del områder relatert til miljøeffekter hvor vi mangler kunnskap. Det gjelder blant annet effekten på karbonlageret i jorda og eventuell påvirkning på vannmiljø ved vanlige gjødslingsdoser. Effekter på skogproduksjon og miljø av tilbakeføring av aske er også lite undersøkt.

3.7 Foryngelseshogst

Kapitlet er todelt, hvor del en fokuserer på hogstform (flatehogst versus selektive hogster), mens del to fokuserer på hogsttidspunkt.

3.7.1 Hogstform

3.7.1.1 Produksjon ved flatehogst vs bledning/selektiv hogst

Produksjon og volumtilvekst ved flatehogst kontra bledning og selektiv hogst har vært debattert i mange år både i Norge og i Europa. Flere undersøkelser er utført på dette området (Mitscherlich 1952, Böhmer 1957, Mikola 1984, Lundqvist 1989, Andreassen 1994, Lähde mfl. 2002, Webster & Lorimer 2002). Konklusjonene er ikke entydige, men mange forskere mener det blir noe lavere volumproduksjon i skog skjøttet med selektiv hogst sammenlignet med ensaldret skog i flateskogbruket. Det ble i en litteraturstudie fra 2015 (Dalsgaard mfl. 2015) konkludert med at det er forskningsmessig belegg for at tilveksten over tid er noe lavere i skog som behandles med bledningshogst enn i skog som forynges ved flatehogst og planting. De konkluderte også med at en må påregne et vesentlig tilveksttap fram til fullført konvertering fra en ensaldret, ensjiktet skog til flersjiktet skog egnet for bledning. De påpeker imidlertid at det er mangelfull kunnskap om hvordan konvertering fra ensjiktet til flersjiktet skogstruktur påvirker produksjonen i bestandet (Dalsgaard mfl. 2015).

Produksjonsutbytte ved avvirkning gir høy middeldiameter og en større andel store trær ved selektiv hogst (Andreassen 1994, Dale & Kjøstelsen 1994, Dale & Stamm 1994, Eid 1998). Videre vil det ved en selektiv hogst og delvis utglisning i gran normalt komme opp naturforyngelse og man slipper dermed å plante (Valkonen mfl. 2011, Valkonen & Siitonen 2016). En ulempe ved dette er imidlertid at man går glipp av den tilveksteffekten som bruk av foredlet plantemateriale gir (kap. 3.2.5.).

Det er vanskelig å si hvordan en klimaendring vil påvirke produksjon, naturforyngelse og plantetilslag i skog skjøttet med selektiv hogst. Antagelig vil produktivitet (økt), generering av naturforyngelse (økt) og rotasjonstid (reduisert) påvirkes også i selektivt hogde bestand.

Ved selektive hogster bevares vanligvis det meste av bestandsstrukturen og produksjonsapparatet, og på denne måten vil bestandet kontinuerlig kunne produsere biomasse.

Selektiv hogst passer best på midlere boniteter og på lettforynkelige arealer (Andreassen 1994). Lexerød og Eid (2004) har undersøkt hvilke arealer som er best egnet for selektiv hogst i Norge basert på Landskogtakseringens prøveflater.

3.7.1.2 Fjellskoghogst

Akkurat hvor store arealer en skal regne som fjellskog kan være vanskelig å definere, men et estimat beregnet av Søgaard mfl. (2012) ga som resultat at om lag 17 prosent av det produktive skogarealet på landsbasis faller inn under denne kategorien. En stor andel av dette er eldre skog i hogstklasse IV eller V. Et fellestrekk for skogarealene opp mot fjellet er at veksesongen er kort, samtidig som lave sommertemperaturer setter begrensninger for blomstring og frømodning, slik at det kan gå mange år mellom de gode frårene på både gran og furu (Bonnieve-Svendsen & Skoklefald 1965; Bergan 1981). I mange tilfeller vil også frost i vekstsesongen være en utfordring, slik at hogst av store snauflater vil medføre vansker i forhold til å få opp ny skog etter hogst. Store deler av fjellskogen tjener derfor som

vernskog for den lavereliggende skogen og er underlagt spesielle begrensinger i forhold til skogsdrift gjennom Lov om skogbruk med tilhørende forskrift. Fjellskogen er også av spesiell betydning for friluftsliv og rekreasjon, og skogbehandling i fjellskog er særskilt omtalt i Norsk PEFC Skogstandard (2016), der en kan lese følgende under kravpunkt 10 (Hogst):

«I fjellskog skal det legges vekt på å fremme og opprettholde et gammelskogpreg. Ved hogst skal det derfor i størst mulig utstrekning brukes lukket hogstform (fjellskoghogst) i grandominert skog, og småflatehogst og mindre frøtrestillinger i furudominert skog.»

I fjellskog vil ofte ekstensiv drift være aktuelt grunnet lav gjennomsnittsproduksjon, dårlig virkeskvalitet og høye driftsutgifter (Solbraa 2001). I de seneste 30-40 år har en i skogbruket praktisert såkalt «fjellskoghogst», som av Solbraa (2001) omtales som en kombinasjon av hogstformer som bledningshogst, skjermstillingshogst og småflatehogst, der hogstføringen styres av variasjon i tretetthet, sjiktning og muligheter for naturlig foryngelse. Utførelsen kan derfor variere, men ofte hogges i størrelsesorden 50 prosent av trærne prioritert mot de største. Regnet i volumandel vil da uttaket som oftest være noe høyere. Fjellskoghogst har i følge Resultatkontrollen for skogbruk og miljø de siste årene ligget i størrelsesorden to prosent av det samlede hogstarealet (ekskl. tynninger) (se f.eks. Granhus mfl. 2016).

Tidlige erfaringer med fjellskoghogst i granskog ble publisert på slutten av 1980-tallet av Nilsen (1988), som undersøkte foryngelse og tilvekstrespons i 32 granbestand i Gausdal og Trysil. Resultatene her var relativt positive, både i forhold til tilvekstrespons på de gjestående trærne og foryngelse, men resultatene må betraktes som foreløpige da tidsrommet mellom hogsten og registreringene var kort – fra 7 til 13 år. Nilsen (1988) framhevet betydningen av å spare forhåndsforyngelse, og konkluderte med at hogstuttaket bør begrenses til 50-60 prosent av grunnflaten, fordi sterkere hogster ga smylebinding og mere vanskelige foryngelsesforhold. Senere er det også gjennomført en studie etter tidligere utført fjellskoghogst i fire bestand i Nordland (Øyen og Nilsen 2004), der årlig middeltilvekst fra hogst til 15-30 år etter hogstinngrepet lå på et nivå som varierte fra 56-73 prosent av produksjonstabellens verdi for den aktuelle boniteten. I tillegg omfatter litteraturen noen lokale studier av foryngelse etter selektive hogster i fjellskog (hovedoppgaver). Det gjenstår imidlertid å utføre en systematisk evaluering av resultatene som dekker en lengre periode etter hogstinngrepet. Det må derfor anses som usikkert om den formen for fjellskoghogst som utføres i dag gir den langsiktige tilveksten på gjensatte trær og den foryngelsen som har vært forventet. Disse spørsmålene er tema for et nytt prosjekt finansiert av Utviklingsfondet for skogbruket og Skogtiltaksfondet, som startet opp i 2017, med Norskog som prosjekteier og med deltakelse fra NIBIO, Statskog og Glommen.

Selv om fjellskogen er marginal i produksjonssammenheng, ved at tilveksten begrenses av et kjølig klima, er disse arealene likevel viktige ved at de har en høy andel eldre produksjonsskog og hogstmoden skog. Lokalt vil utnyttelse av denne ressursen stå sentralt dersom en skal kunne øke avvirkningskvantumet. Ved et endret klima som gir lengre vekstsesong er det også i den høyereliggende skogen at en vil kunne forvente den største prosentvise produksjonsøkningen. Hva dette vil bety i økt potensiale for hogst på nasjonalt nivå og for optimal behandling av den fjellnære skogen bør klarlegges nærmere.

3.7.1.3 Hogstform og risiko for vind- og snøskader

Betydningen av skogstruktur for risikoen for vind- og snøskader er todelt, og litteraturen på dette området kan virke motstridende og forvirrende. Hvis vi ser på ett bestand isolert synes en homogen skogstruktur med regelmessig fordelte og jevnstore trær av samme treslag å gi lavest risiko, mens samlet sett for et stort skoglandskap kan en fleraldret og flersjiktet skog gi mindre skader. For å forstå dette er det avgjørende å fokusere på bestandskantene. I skogbruket har det i seinere år har det vært en trend mot naturnær skogbehandling hvor man hogger store enkelt-trær og slipper opp yngre småtrær (Continuous Cover Forestry, CCF), i motsetning til en skogbehandling med ensjiktet og ensaldret skog og snauhogst med 50-120 års mellomrom (Rotation Forest Management, RFM). En rekke studier har

funnet at risikoen for vindskader er lavere i CCF-skog enn i RFM-skog (f. eks. Pukkala mfl. (2016)). Videre er flersjiktet skog funnet å ha lavere risiko enn ensjiktet skog (Valinger & Fridman 2011). Dobbartin (2002) studerte skader etter to av de sterkeste vindskadene på skog i Europa i nyere tid, ved stormene Vivian & Lothar, og fant at skog med uregelmessig struktur hadde mindre skader enn skog med regelmessig struktur. Disse resultatene må imidlertid tolkes som et resultat av at CCF gir lite skogkanter, fordi man har store sammenhengende områder med flersjiktet skog. Ved ensaldret skog (RFM) får man nye kanter hver gang et område med gammel skog hogges, og slike kanter er særlig utsatte for vindskader. CCF-skog gir også lavere enkelttrestabilitet, fordi trærne i ungdommen får lite lys og plass til å utvikle rotsystem og en sterk stamme, og de får heller ingen herding. Det er også sann at en ensaldret skog øker sjansen for at man får massive skader av vind og snø når man har ekstremvær, og mange studier er gjort etter slike stormer. I flersjiktet skog får man gjerne spredte vindfall til enhver tid, og dette utgjør et kontinuerlig problem som ikke fanges opp i studier basert på ekstremvær. Simuleringer av vindskader i ulike typer skogstruktur med modellen FOREOLE viste at uregelmessige bestand har et kontinuerlig problem med spredte vindfall, at man får skader også ved moderate vindstyrker, og at det er særlig store enkelttrær som blåser ned (Ancelin mfl. 2004). Det er også vist at omfanget av stormskader øker hvis det er stor høydevariasjon mellom de dominante trærne i en skog (Cucchi & Bert 2003). Tilsvarende viste Sommerville (1980) at det blir mye turbulens og friksjon mellom vind og trær, og dermed økt risiko for vindfall, hvis det er høydevariasjoner på trærne på mer enn 5 m. Når kronetaket i skogen er jevnt så vil vinden i stor grad stryke over med lite turbulens mellom trærne. Nettselskapenes erfaring er også at uregelmessig skog har et kontinuerlig problem med vindfall, samt at slik skog er uoversiktlig og gjør det vanskelig å identifisere risikotrær.

3.7.1.4 Selektiv hogst i råteutsatte bestand

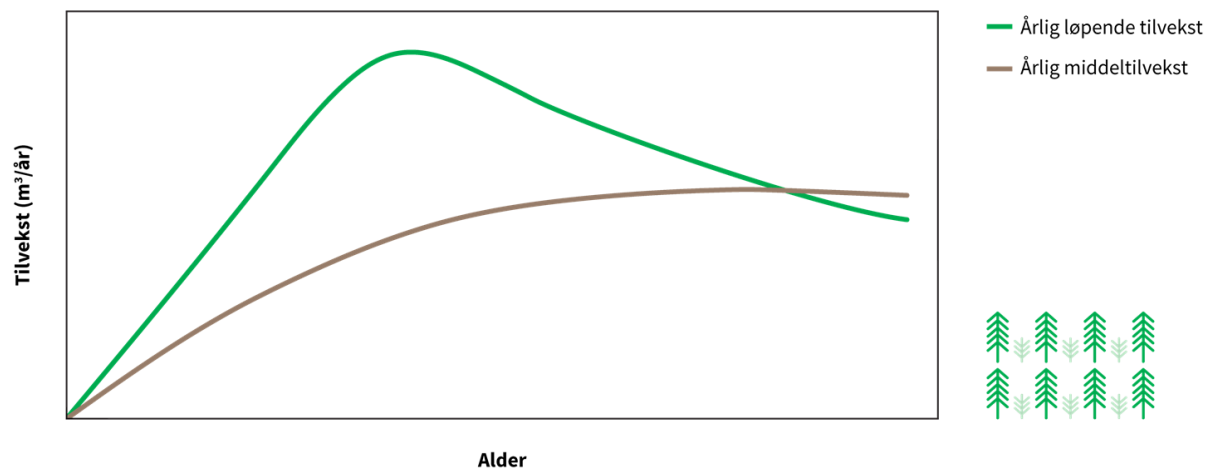
I råteutsatte bestand er selektiv hogst ikke aktuelt siden spredning av rotkjuke i bestandet via rotsystemet skjer 2-3 ganger fortere i det døde rotsystemet til stubber enn hos levende røtter med aktive forsvarmekanismer (Bendz-Hellgren mfl. 1999).

3.7.2 Hogsttidspunkt

Praksis med hensyn på hogsttidspunkt, og betydning for biomasseproduksjon ved noen ulike scenarier, er beskrevet i Søgaard mfl. (2015). Etter at disse analysene ble gjort er det innført en minstealder i PEFC.

3.7.2.1 Produksjon ved ulik alder

Tidlig i et bestands liv er tilveksten liten, mens den så øker kraftig før den igjen avtar (årlig løpende tilvekst, $\dot{A}LT$). Der denne kurven krysser kurven for årlig middeltilvekst ($\dot{A}MT$) regnes som det tidspunktet hvor årlig middeltilvekst kulminerer ($\dot{A}MT_{maks}$). Dette prinsippet er illustrert i figur 11.



Figur 11. Der kurvene for årlig løpende tilvekst og årlig middeltilvekst krysser regnes som det punkt der årlig middeltilvekst kulminerer ($\dot{A}MT_{maks}$).

Maksimal volumproduksjon over gjentatte omløp får en ved å avvirke ved $\dot{A}MT_{maks}$, og dette er også reflektert i forskriften fra 1966. Tidspunktet der gjennomsnittsproduksjonen ($\dot{A}MT$) begynner å avta, er gjerne omtalt som *biologisk* hogstmodenhetsalder.

Alder for når årlig middeltilvekst kulminerer er ingen fast størrelse. Den varierer med skogtype, både treslag og bonitet er viktige faktorer. Middeltilveksten kulminerer generelt tidligere i gran enn i furuskog, og tidligere jo bedre bonitet. Og den vil være påvirket av blant annet skogbehandling (inkludert ulik plantetetthet, tynningsprogram, mv.). F.eks. vil tidspunkt, omfang og hyppighet av tynningsinngrep påvirke når $\dot{A}MT_{maks}$ inntreffer.

Utviklingen i middeltilveksten for gran og furu er beskrevet i en rekke produksjonstabeller. Grunnlaget for produksjonstabellene er data fra forsøksfelt i ensaldret gran- og furuskog med nær optimal skogbehandling, innsamlet ved NIBIO (tidligere Det norske Skogforsøksvesen og Norsk institutt for skogforskning) i tiden 1917 – 70. Forsøkene representerer ofte en form for idealskog og er ikke i alle sammenhenger nødvendigvis representative for skogen vi normalt observerer i Norge.

For gran er produksjonstabellene beregnet av Braastad (1975), og med bonitetskurver fra Tveite (1977). For furu er produksjonstabellene beregnet av Brantseg (1969), omarbeidet av Braastad (1977), og med bonitetskurver fra Tveite (1977). Det er beregnet produksjonstabeller for ulike skjøtselsalternativ. Det er også utviklet produksjonstabeller for andre treslag, men i dette notatet fokuserer vi på gran og furu.

Som figur 11 viser, flater kurven for $\dot{A}MT$ ut og det er ikke alltid enkelt å avgjøre eksakt når den kulminerer. Det er i tillegg betydelig usikkerhet knyttet til i hvilken grad de gamle produksjonstabellene er representative under dagens vekstbetingelser.

Det har også skjedd en betydelig utvikling innen foredling av plantemateriale. Det er plantemateriale tilgjengelig i dag som kan ha betydelig bedre produksjon enn plantematerialet som ligger til grunn for utviklingen av produksjonstabellene.

Forskriften omtaler skog med normal tetthet. Abiotiske og biotiske skader (inkludert dårlig skjøtsel) kan føre til at bestandet middeltilvekst kulminerer betraktelig tidligere. Dette kan for eksempel være knyttet til råte, tørke, insektskader, vindfellinger og harde tynninger sent i omløpet.

Selv om produksjonstabellene (Braastad 1975, 1977) kan benyttes til å angi en alder for $\dot{A}MT_{maks}$, er det som beskrevet over flere momenter som taler for en varsomhet ved bruk av disse aldre som faste grenser.

3.7.2.2 Hogsttidspunkt i forhold til skaderisiko

I tørkeutsatte granbestand på høy bonitet kan en tidlig hogst være fornuftig for å unngå en akselererende skadeutvikling. I vindutsatte områder vil også en tidlig hogst redusere risikoen for rotvelt og stammebrekk, siden risikoen øker med bestandets høyde (jfr. kap. 3.8.4). Når det gjelder råte, er informasjon om råtefrekvens ved forrige slutthogst og tidligere tynninger, hvis tilgjengelig i skogbruksplan, viktig informasjon for å tilpasse både timingen til slutthogst og tynninger. I råteutsatte bestand kan forkortet omløpstid være aktuelt for å redusere råteomfanget.

3.7.2.3 Økonomi

For å vurdere skogbestandets *økonomiske* hogstmodenhet må verdiutviklingen på kapitalen i skogen sammenliknes med alternative kapitalplasseringer. *Økonomisk* hogstmodenhet i et bestand inntreffer når relativ verdiutvikling¹ (%) i bestandet faller under skogeierens krav til avkastning, for eksempel innskuddsrente i bank. Ved kapitalbehov kan relevant alternativ avkastning være lånerente. Fra et økonomisk synpunkt er det en sammenlikning av alternative kapitalplasseringer som avgjør når det skal hogges og kapitalen dermed skal flyttes et annet sted.

Verdiutviklingen i et bestand bestemmes av utvikling i biologisk vekst og (netto) tømmerpris. Verdien for en volumenhet trevirke varierer med både treets dimensjon og kvalitet. Et tre har således tilvekst både i biomasse og pris per m³ når det vokser. I tillegg endres kostnadene for hogst og transport med treets størrelse. Treets (og bestandets) verdiutvikling er således en funksjon av endring i både volum og pris per kubikkmeter. Eksempelvis vil et tre vokse kraftig i verdi i det treet når minste skurbare dimensjon (13 cm i tømmerstokkens topp), siden skurtømmerprisen er betydelig høyere enn massevirkeprisen. Tilsvarende vil treet miste verdi når toppdiameteren for første skurstokk passerer største diameter som teknisk kan sages. I for eksempel Tyskland er dette 45 cm.

Industrien etterspør tømmer i bestemte lengder og dimensjoner utfra trelastmarkedets etterspørsel og behov. Sagbrukenes produksjonslinjer er tilpasset dimensjonene. Hvis tømmeret blir for grovt passer det ikke inn i produksjonslinjene, men må skjæres på spesialiserte anlegg (ofte mindre anlegg/båndsager). Siden kvalitetskrav og tømmerpriser varierer både over tid og med kjøper, vil hogstmodenhet være et dynamisk begrep der en må ta hensyn til mange faktorer for å bestemme verdiutvikling og hogstmodenhet i et bestand.

Tradisjonelt har diameterpremieringen vært stigende opp til omkring 30 cm i toppdiameter og deretter vært flat, mens lengdepremieringen har vært stigende til og med 55 dm lengde og deretter fallende. Dagens krav til tømmerdimensjoner og tilhørende priser medfører ofte at sagtømmer med stor diameter premieres i langt mindre grad enn for noen ti-år siden. For noen kjøpere faller tømmerprisen når man passerer en gitt diameter. Videre premieres lange lengder i større grad enn før hos norske kjøpere. Utenlandske kjøpere har noe mindre premiering for lengde.

Dagens markedsituasjon, med mindre fokus på diameter enn tidligere, fører til økonomisk hogstmodenhet ved lavere alder enn det som ofte oppfattes som normalt.

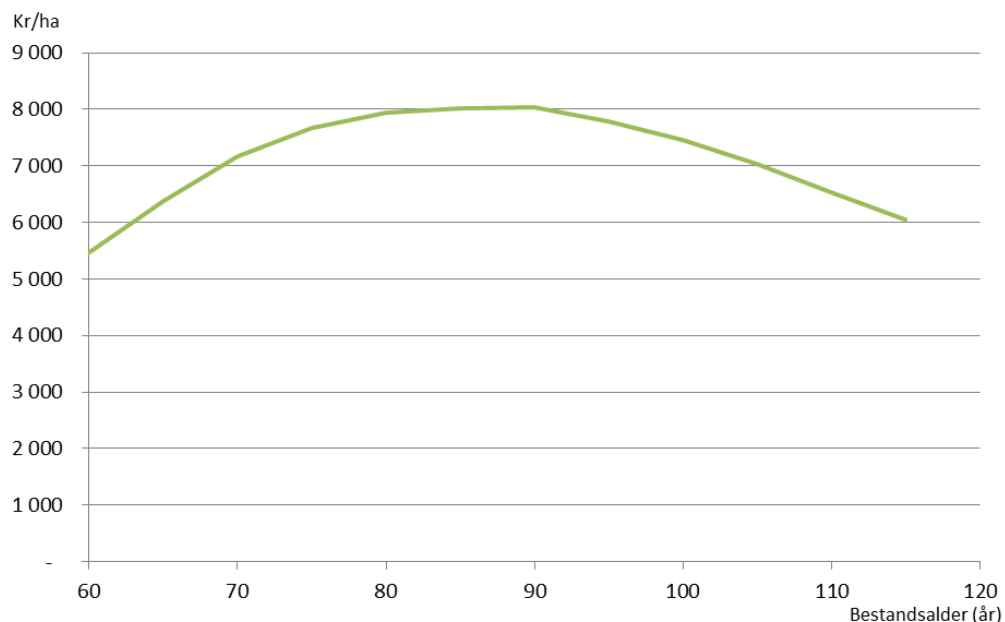
Disse forholdene fører til økonomisk hogstmodenhet ved lavere alder enn når markedet ønsker tømmer med stor diameter. Økonomisk hogstmodenhet varierer derfor mer i tid og rom enn hogstmodenhet definert av maksimal biologisk produksjon.

Videre kan det være slik at skogeieren ikke vurderer hogstmodenhet for et enkelt bestand isolert, men gjør vurderinger der andre faktorer eller restriksjoner har betydning. Det økonomisk optimale hogst-tidspunktet for en skogeier kan for eksempel påvirkes av investeringsbehov utenom skogen. En skogeier kan også ha som målsetting å ha jevn avvirkning over tid. Avhengig av alders- og bonitetsfordelingen på eiendommen, kan dette føre til at skogen overholdes utover biologisk hogstmodenhetsalder eller at avvirkningen forseres på deler av skogarealet slik at bestand hogges betydelig før ÅMT kulminerer.

¹ For korrekt vurdering skal også verdien av senere omløp inkluderes.

I praktisk skogforvaltning omtales hogstklasse V som hogstmoden skog. Det er uklart hvilke kriterier og beregninger som ligger til grunn for fastsettelsen av grensene for overgangen mellom hogstklasse IV og V, men nedre aldersgrense for hogstklasse V synes å sammenfalle med økonomisk hogstmodenhetsalder for normale tømmerpriser og et rentekrav på omkring 3%.

Figur 12 antyder at verdiendringen for et bestand er liten i flere år rundt maksimalpunktet. Dette gir en viss frihet i valg av avvirkningstidspunkt.



Figur 12. Eksempel på utvikling i verdi for et bestand med normal tetthet på midlere bonitet. G14. 200 trær/dekar.

3.7.2.4 Klimaendringer og hogsttidspunkt

Klimaendringer forventes å gi økt vekst. Dette påvirker i liten grad den prinsipielle vurderingen av hogsttidspunkt for et areal, annet enn at hogsttidspunktet vil endre seg dersom arealets produksjonsevne endrer seg. Dersom klimaendringer påvirker det generelle skadebildet vil dette også kunne påvirke hogsttidspunkt og vurderinger rundt dette. I så fall gjelder det som er omtalt tidligere om hogsttidspunkt og risiko/skader.

3.8 Økonomiske rammer

3.8.1 Prising av tømmer

Trevirkets verdi er knyttet til bruken av det til fremstilling av forskjellige produkter. Forskjellige trebaserte produkter har forskjellig salgsverdi og trevirkets verdi varierer derfor med hvilken sluttbruk det har. Trevirke til bygningsmaterialer og møbler har derfor høyere verdi enn trevirke som brukes til fremstilling av papir eller produkter av tremasse (for eksempel sponplater). Systemet for prising av tømmer gjenspeiler dette ved å prise trevirket etter hvilke egenskaper det har og hvilke sluttprodukter det kan brukes til.

For tømmer som skal males opp eller kokes spiller dimensjon eller andre ytre egenskaper liten rolle, og slikt tømmer - massevirke – prises derfor uniformt med fast pris per kubikkmeter. For trelast, og andre liknende produkter, spiller tømmerstokkens dimensjon og fysiske utseende en rolle. Derfor prises trevirke til slike produkter etter dimensjon.

Industrien etterspør tømmer i bestemte lengder og dimensjoner utfra trelastmarkedets etterspørsel og behov. Det tradisjonelle bildet er at prisen per kubikkmeter øker med diameter og lengde. Sagbrukenes produksjonslinjer er tilpasset dimensjonene. Hvis tømmeret blir for grovt passer det ikke inn i produksjonslinjene, men må skjæres på spesialiserte anlegg (ofte mindre anlegg/båndsager).

Tradisjonelt har diameterpremieringen vært stigende opp til omkring 30 cm i toppdiameter og deretter vært flat, mens lengdepremieringen har vært stigende til og med 55 dm lengde og deretter fallende. Dagens krav til tømmerdimensjoner og tilhørende priser medfører ofte at sagtømmer med stor diameter premieres i langt mindre grad enn for noen ti-år siden. For noen kjøpere faller tømmerprisen når man passerer en gitt diameter. Videre premieres lange lengder i større grad enn før hos norske kjøpere. Utenlandske har noe mindre premiering for lengde.

3.8.2 Driftskostnader

Kostnader knyttet til avvirkning av skog har to delkomponenter, hogst av treet og framkjøring til velteplass. Kostnaden per kubikkmeter med tømmer avgjøres av kostnaden per time for den maskinen som benyttes og hvilken produksjon denne maskinen har for et gitt skogbestand. Hogstmaskinen og lassbærerens prestasjon og produksjon påvirkes av litt forskjellige faktorer.

Prestasjonen for en hogstmaskin er i hovedsak en funksjon av trestørrelse (middeltreets volum) og stående volum (volum per arealenhet). Produksjonen per tidsenhet øker og kostnaden per m³ synker med økende trestørrelse inntil et visst nivå. For meget store trær øker kostnaden igjen siden store trær er vanskelige å håndtere med maskin. Produksjon per tidsenhet øker med økende stående volum og dermed synker kostnaden per m³ med økende stående volum.

Produksjonen for en lassbærer henger også i noen grad sammen med trestørrelse og stående volum, men det er kjøreavstand som er viktigst for framkjøringskostnaden. Med en omtrentlig hastighet på 2km/t i jevnt og flatt terreng har kjøreavstand relativt mye å si for kostnad per m³.

Utover de variable kostnadene knyttet til prestasjonene for maskinene, vil total driftsstørrelse (i volum) påvirke samlet kostnad siden det er relativt kostbart å flytte maskiner mellom drifter og denne kostnaden må belastes driftsprisen.

Samlet sett vil grov skog, kort driftsvei og stort volum gi lavere driftskostnader enn det motsatte. Denne beskrivelsen av faktorer som påvirker driftskostnadene er selvfølgelig ikke uttømmende.

Klimaendringer vil trolig påvirke driftsmulighetene og kostnadene i skogbruket. Med forventninger om et mildere og våtere klima vil større deler av operasjonene i skogen foregå i forhold som oppleves som utfordrende. En del arealer vil bli vanskeligere tilgjengelig på grunn av manglende frost og på noen arealer vil det bli mer kjøreskader. Dette kan delvis motvirkes gjennom bedre planlegging (driftsopplegg, tidspunkt, kjøreruter osv.) og delvis gjennom utvikling av utstyr som takler slike forhold bedre.

3.8.3 Avkastningskrav/kalkulasjonsrente

Hva som er relevant avkastningskrav er opp til den enkelte skogeier å vurdere, men valget knyttes normalt opp mot kapitalbehov og kostnader knyttet til kapitalanskaffelse, eller avkastning på alternative kapitalplasseringer. I tillegg bør det gjøres et påslag for eventuell risiko. For eksempel vil nedbetaling av gjeld være risikofritt, mens overholdelse av skog medfører risiko og dermed høyere avkastningskrav.

Høsten 2016 ble det gitt boliglån fra omtrent 2.5 % rente og billån fra ett til to prosentpoeng høyere enn dette avhengig av egenkapital. Konsesjonsregelverket bruker 4 % kalkulasjonsrente for skog.

Samfunnsøkonomiske analyser for offentlig prosjekter benytter gjerne 4 % kalkulasjonsrente, som består av 3 % risikofri avkastning og et moderat påslag for risiko.

3.8.4 Risiko

Skader forårsaket av vind eller soppangrep er de viktigste biologiske risikofaktorene i eldre skog. Kortsiktige variasjoner i tømmerpris er den viktigste økonomiske risikoen. De økonomiske konsekvensene av biologiske skader er som regel store. For vindskader er normalt utfallet katastrofalt ved at store deler av tømmervolumet mister kvaliteten det ellers ville hatt og dermed omsettes til en langt lavere pris enn det ville uten skader. I noen tilfeller kan tømmeret ødelegges slik at det ikke er salgsvare. I tillegg blir avvirkningskostnadene langt høyere enn vanlig.

Generelt er årsaken til vindskader kompleks (se også kap. 3.4.3.), men det er sammenheng mellom meteorologi, bestandslokalitet og bestandssammensetning, markforhold og tidligere skjøtsel. Skogeieren kan altså i noen grad selv påvirke risikobildet gjennom skogbehandlingen.

Risiko for vindskader er knyttet nøye sammen med treantall og tetthet, både nå og utvikling over tid. Mangelen på tynning i granskogen på Vestlandet spiller derfor en viktig rolle i vurderingen av hogsttidspunkt. Generelt gjelder at risikoen for vindskader øker med bestandshøyde og høyde-/diameter-forhold. Det er relativt liten risiko for skade når h/d-forholdet er under 1 (Øyen 2000). Dette innebærer at tynning i tette bestand kan innebære økt risiko for vindfelling og er således ikke å anbefale. I tette og utynnede bestand vil h/d-forholdet stige med alderen og risikoen for vindskader vil således stige.

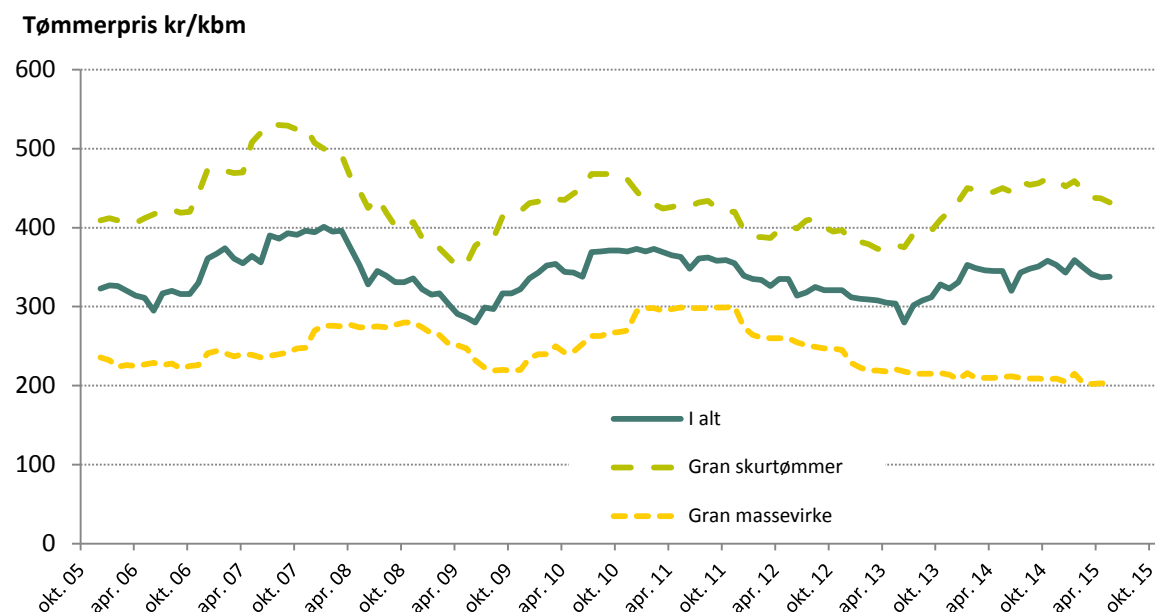
For urørt granskog på Vestlandet fant (Øyen 2000) at større stammetallsreduksjoner fant sted mellom 20 og 50 år i brysthøydealder med H/D-forhold over 1. På G20 bruker trærne omtrent 10 år brysthøyde, slik at dette gjelder skog med totalalder fra 30 til 60 år. Gjennomsnittlig (brysthøyde)-alder, middelhøyde og middeldiameter var hhv. 29 år, 13.6 meter og 13.6 cm. I Øyens materiale var gjennomsnittlig H/D-forhold 1.022, med minimum på 0.752 og maksimum på 1.292. En betydelig andel av materialet hadde altså økt risiko på grunn av høyde-diameter-forholdet. Forholdet mellom overhøyde og diameter utvikler seg noenlunde lineært, og det er normalt også et lineært forhold mellom overhøyde og middelhøyde. Siden mortaliteten er størst for trær under middeldimensjonen vil normalt middeldiameter i bestanden stige mer enn diametertilveksten tilsier. Allikevel gjelder nok at risikoen for vindskade øker med alder i spesielt utynnet skog.

Generelt øker skaderisiko med bestandsalder, trehøyde, bestandsvolum, granandel og tynningsstyrke (Fridman mfl. 2006). Det peker særlig på at det vil være uklokt å foreta tynninger i eldre produksjonsskog på Vestlandet. I Sverige anbefales 10-15 års lavere slutthogstalder enn tidligere med bakgrunn i erfaring fra senere års stormfelling (Gudrun). I Stor-Britannia anbefales kortere omløpstider i vindutsatt områder (<http://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-7G4A7Z>).

Konsekvensene av råteskader er normalt ikke like stor som for store vindskader, men er langt vanligere. Tellinger viser at så mye som hvert fjerde tre i hogstmoden skog kan være råteangrepet (Huse mfl. 1994). I gran på Vestlandet er det vanligvis fururotkjuke som forårsaker råte. Faren for råteinfeksjonen er meget tett knyttet til sårskader på trærne. Dette øker med inngrep i skogen og både ungskogpleie og tynning øker således faren for infeksjon. Skadeomfanget øker normalt med bedring i vekstforholdene, og råteinfeksjon på for eksempel tidligere innmark kan gi store konsekvenser.

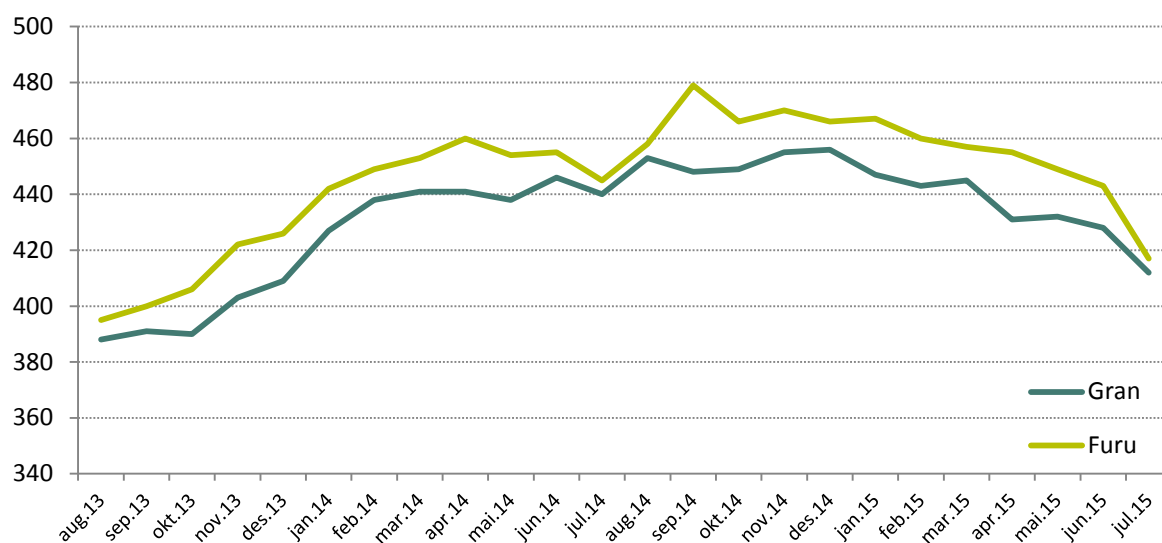
Råte i et tre fører til redusert kvalitet, normalt ved at rotstokken bultes eller blir massevirke. Dette gir en kraftig reduksjon i treets verdi både på grunn av redusert pris på rotstokken og fordi rotstokken utgjør en stor del av treets volum. Dersom det er fare for råteangrep er det tilrådelig å vurdere sluttavvirkning tidligere enn normalt.

Utover de økonomiske konsekvensene av biologiske skader representerer variasjoner i tømmerpriser en egen risikofaktor. Figur 13 viser utvikling i tømmerpris i Norge i perioden 2006 til 2015. Figuren viser at det er betydelige variasjoner i tømmerprisene over tid.



Figur 13. Prisutvikling på tømmer fra januar 2006 til juni 2015. Gjennomsnitt alle sortiment. Kilde: SSB.

Høsten 2007 lå gjennomsnittlig tømmerpris oppunder 400 kroner. Litt mindre enn to år senere, sommeren 2009, var prisen under 300 kroner. Disse to punktene representerer topp og bunn i den 10-årsperioden som er vist i grafen. For et skogbestand er det normalt slik at kurven som beskriver utviklingen i verdi er relativt flat rundt hogstmodenhetsalderen. Det innebærer at det er mulig å foreta hogsten både noe før og noe etter det optimale tidspunktet uten særlig økonomisk tap. Tiden mellom topp og bunn, under 2 år, i figuren med tømmerpris er godt innenfor det relevante tidsrommet for slutthogst. Dersom det over en 10-årsperiode er så mye som 25 % variasjon i tømmerpris vil et være langt viktigere å tilpasse seg disse variasjonene enn å bestemme hogsttidspunkt ut fra biologisk vekst. Den biologiske tilveksten skal være svært høye for å kompensere for et fall i gjennomsnittsprisen på 25 %. Skurtømmerprisen viser ennå sterkere variasjon, mens massevirkeprisen har noe mindre variasjon. I bestand med høy skurtømmerandel vil det derfor være ennå viktigere å tilpasse seg variasjonene i tømmerpris. Utviklingen i sagtømmerprisen for gran og furu de to siste årene er gjengitt i figur 14.



Figur 14. Prisutvikling for sagtømmer gran og furu siste to år. Gjennomsnitt. Kilde: Landbruksdirektoratet.

Det ligger også en økonomisk risiko i kjøpernes krav til tømmer. Et eksempel er største dimensjon på tømmerstokken. I Tyskland er stokker over 45 cm i toppdiameter vrak. Siden massevirke har omtrent halv pris av skurtømmer representerer det en betydelig risiko å la bestandet vokse til rotstokken potensielt når slike dimensjoner.

4 Anbefalinger for skogbehandling: oppsummert

4.1 Foryngelse

4.1.1 Markberedning

Med de forventede klimaendringene blir det enda viktig å legge til rette for rask og god planteetablering i framtiden, slik at skogplantene motstår konkurransen fra annen vegetasjon og angrep fra snutebiller. Der forholdene er egnet for det er markberedning et viktig tiltak for å oppnå dette, både ved naturlig foryngelse og planting.

Markberedning for naturlig foryngelse bør særlig benyttes der råhumuslaget er tjukt og seigt, slik som i røsslyng-blokkebærskog og en del utforminger av blåbær- og bærlyngskog. For å øke spireprosenten er det nok med en grunn markberedning som fjerner humuslaget.

Ved **markberedning før planting** bør metoden tilpasses stedet. Hauglegging og andre metoder som skaper et forhøyet plantepunkt er bra på fuktig mark. Der man forventer snutebilleangrep er det et mål å lage flest mulig planteplasser med rein mineraljord på toppen, og å sikre at plantemannskapet utnytter disse planteplassene.

Markberedning kan gi økt oppslag av lauvtrær, særlig på fuktig mark. Av hensyn til dette, og også på grunn av faren for avrenning og hensynet til rekreasjon/estetikk, er det en fordel å benytte metoder som påvirker en mindre del av overflaten.

Den økonomiske nytten av markberedning består i at omløpstiden blir kortere, avgangen blir mindre (man kan plante færre planter), og selve utførelsen av planting blir billigere. Samtidig betyr logistikk og bestandsstruktur mye for kostnadene ved markberedning. Planlegging er derfor viktig når en ønsker å markberede. Mange små bestand, lange avstander eller bratt, lite framkommelig og steinrikt terreng øker kostnadene og gir dårligere økonomi ved tiltaket.

Bruken av markberedning har steget de siste årene, og det er fortsatt potensiale for å øke bruken en god del. På grunn av sterkt varierende topografi og jordsmonn i Norge er det imidlertid ikke realistisk at markberedning skal være et standard tiltak overalt.

4.1.2 Kjemisk ugraskontroll

Bruken av kjemiske plantevern bør i størst mulig grad unngås. Dette kan oppnås ved å legge til rette for rask etablering av ny skog etter avvirkning. Men på spesielt frodige arealer eller der det allerede er problemugas som for eksempel rødhyll, kan sprøyting være nødvendig. Tiltaket bør skje før tilplanting med gran hvis mulig, sprøyting kan da skje uten fare for sviskader på granplantene. For best effekt bør sprøyting unngås i tørkeperioder og på spesielt varme sommerdager. Sprøyting på felt som er tilplantet med gran kan ikke gjennomføres før granplantene har avsluttet strekningsveksten og utviklet endeknopp.

4.1.3 Plantetype

Valg av plantetype bør tilpasses forholdene på plantefeltet. På felt som er markberedt kan ettårige plantetyper være et naturlig førstevalg. Der det ikke er markberedt må risiko for snutebillegnag og konkurrerende vegetasjon vurderes opp mot økonomi når plantetyper skal velges. Større rothalsdiameter gir plantene økt motstandskraft mot snutebillegnag og vegetasjonskonkurranse. Ingen

av pluggplantetypene som er vanlige til foryngelse av skog i dag har en stor nok rothalsdiameter til å være sikker mot skader av snutebiller, men større og vitale planter vil bedre tåle skader.

4.1.4 Valg av plantemateriale

I store deler av Norden vil forventede klimaendringer gi lengre vekstsesong og økt potensiale for skogproduksjon. Det er viktig at plantene vi bruker har god genetisk klimatilpasning for at potensialet skal utnyttes uten at risikoen for skader øker. Ved bruk av frøplantasjefrø i granforyngelser vil en kunne forvente 10 – 15 % økt tilvekst. Frøplantasjer etablert etter år 2000 vil sannsynligvis gi 3 - 5 % høyere tilvekst enn dette igjen. Spesifikke anbefalinger om hvilke egenskaper som gir optimal skogproduksjon vil variere mellom skogregionene. Det er Skogfrøverket (www.skogfroverket.no) som gir anbefalinger for valg av plantemateriale ut fra genetisk opphav, frøplantasjenes beliggenhet, erfaringer fra forsøk og eksisterende regelverk. I tillegg må skogeier vurdere plantelokalitetens frostrisiko, som er svært viktig for valg av rett plantemateriale.

Når det gjelder bruk av frø og planter fra utlandet, skal Kontrollutvalget for frøforsyningen behandle og godkjenne søknadene om bruk av utenlandske materialer av norske treslag i Norge. Ved import av planter skal sunnhetssertifikat medfølge plantene. Det sier at plantene er fri for planteskadegjørere, jfr. risiko for import av skadegjørere (kap. 2.2.2.2.).

4.1.5 Plantetetthet og supplering

Plantetettheten betyr mye for valgmulighetene man har seinere i omløpet, og må sees i sammenheng med blant annet ungskogpleie og utgangstettheten etter denne.

Dersom man planter i samsvar med kravene for å få statstilskudd til tettere planting (se tabell) vil det være tilstrekkelig tett til å få høy produksjon og mange trær med høy kvalitet, og gi nær maksimal nåverdi av tiltaket. Samtidig er det ikke så tett at faren for skader av snø- og vindbrekk øker mye.

Bonitet	Plantetall pr. dekar
26	220- 270
23	220- 270
20	200- 250
17	180- 230
14	160- 210
11	130- 180
8	100-150

Man må være rask med å foreta **supplering** dersom disse plantene skal utgjøre noen betydelig andel av det fremtidige bestandet. Dette skyldes at suppleringsplantene blir utsatt for hard konkurranse fra både opprinnelige kulturplanter og lauvoppslag. Suppleringsplanting bør derfor helst skje allerede året etter planting, men seinest to år etter. Dersom avgangen skyldes snutebiller, bør man imidlertid vente med suppleringen til høsten det tredje året etter hogst, hvis ikke kan man risikere at billene skader også de nyutsatte plantene.

For å være raskt ute med supplering må man ha god kontroll med plantefeltene, slik at man så tidlig som mulig vet hvor det er behov. Man bør bruke store og vitale planter ved suppleringen, og «hullene» bør være av en viss størrelse/omfang. I mindre åpninger bør man vurdere å bruke naturlig foryngede lauvtrær som utfyllingstrær.

4.1.6 Gransnutebiller

Skader forårsaket av gransnutebiller kan variere mye fra flate til flate. Tilfeldige faktorer som vindretning og avstand og retning til ferske hogstflater under billenes sverming betyr mye for hvilke flater som får besøk av billene. Men generelt er skadene gjerne størst i lavlandet, og i sør. Tørre områder får mer skader enn fuktige, og planter satt ned i brannområder kan få store skader fordi det der er få alternative matkilder for billene.

Ingen metode er 100 % effektiv mot snutebiller, men mange tiltak samtidig kan ha en additiv effekt mot billene.

Markberedning har god effekt mot snutebiller, særlig når plantene settes i rein mineraljord. I praksis bør mineraljordsflekken være minst 20 x 20 cm. Mye stein eller rask gjenvoksing av flekken på rik mark kan minske effekten av markberedning.

Skjermstilling kan virke effektivt mot snutebilleskader fordi det blir mer alternative matkilder for billene. For å oppnå en god effekt bør skjermtettheten være minst 10-15 trær pr dekar. Tilsvarende finner man mindre skader på plantene på små eller smale hogstflater der avstanden til skogkanten er liten.

Plantetid kan påvirke skadeomfanget. Dersom man venter med å plante til etter at billene har svermet fra flata, vanligvis etter midten av juni tredje år etter hogst, vil skadene gå ned. Men sein planting fører til at ugrasproblemene kan øke sterkt. En annen og tidligere «luke» kan være å plante om høsten (fra rundt slutten av august) første sesong etter hogst. Hvis plantene får anledning til å etablere seg i denne perioden med relativt lav snutebilleaktivitet, kan de klare seg bedre neste sesong.

Plantetyper og -størrelse. Plantens vitalitet og størrelse har betydning både for hvor mye skader den får, og for hvor motstandsdyktig den er mot skader. Jo større plantens rothalsdiameter er, jo mer sannsynlig er det at den overlever, men diameteren må opp i så mye som 8-10 mm før de er i «sikker» størrelse. To-årige M95- og M60-planter har vist bedre overlevelse enn ett-årige M95. Men en vital plante, uansett størrelse, vil ha større motstandskraft mot skader.

Plantebeskyttelse er et helt nødvendig tiltak mot snutebiller i Sør-Norge, og finnes i forskjellige former. Mest vanlig er en form for kjemisk beskyttelse i planteskolene. I Norge brukes hovedsakelig middelet Merit Forest WG. De siste årene er det blitt utviklet forskjellige andre metoder for beskyttelse, slik som Conniflex (Sveaskog), Cambiguard (Södra) eller voksbehandling, blant annet utviklet av Norsk Wax. Riktig utført voksbehandling, hvor voksen legges på i et passe tykt lag og avkjøles raskt etter påføring, er en lovende metode. Svenske forsøk med voks og insektsmidler har vist en nokså lik effekt av Merit Forest, voks, Conniflex og Cambiguard.

4.2 Treslagsvalg

Blandingsbestand av gran og furu på midlere boniteter, eller en temporær blanding av gran og bjørk på bedre boniteter (lavskjerm), vil antakelig kunne oppnå om lag tilsvarende eller eventuelt noe høyere produksjon enn treslagsrene bestand, gitt en optimal skjøtsel. Det er imidlertid også eksempler på at treslagsblanding gir redusert produksjon. Treslagsblanding er derfor pr. i dag mest aktuelt der det er nødvendig å redusere risiko, for eksempel forekomst av råte (gran/lauv), frostproblemer (lauvskjerm) eller fare for tørkestress som følge av klimatiske endringer (innblanding av furu sammen med gran). Bruk av lauv som skjerm for gran krever tett oppfølging for å unngå at lauv hemmer veksten for gran.

I områder med mye elg, er det gjerne aktuelt å benytte gran på arealer som oppfattes som furumark. Selv om dette noen steder er eneste mulighet, vil det på typisk furumark medføre at markas produksjonsevne ikke utnyttes fullt ut. Skifte til lauv kan redusere biologisk risiko, for eksempel råte i

gran, men innebærer betydelig økonomisk risiko vurdert ut fra dagens bruk av trevirke og tømmerpriser.

I Norge har det så langt vært lite fokus på treslagsskifte for å redusere risiko ved et endret klima, og det er for liten forskningsmessig bakgrunn til å gi bastante praktiske anbefalinger om treslagsskifte i en slik sammenheng.

4.3 Ungskogpleie

Studier viser at med en utgangstetthet etter avstandsregulering på 150-250 trær per dekar oppnår man minst 90 % av maksimal verdiproduksjon. Dette er derfor en god pekepinn på hvilken utgangstetthet man bør strebe etter i vanlige bestand. Men dersom en først har etablert et bestand med mellom 250 og 400 trær per dekar på god mark er det neppe lønnsomt å skjære ned mange av dem, med mindre det er snakk om flekkvis innslag av naturlig foryngelse som står svært tett. Minste avstand mellom trær av hovedtreslaget bør være ca. 1,5 m.

I et tynningsfritt skogbruk kan man følge samme mal med hensyn på utgangstetthet. Vi har ikke grunnlag for å tilråde en sterkere nedregulering enn til 150 trær pr dekar.

Ryddingen gjøres så tidlig som mulig slik at granplantene ikke hemmes. Ved lauvrydding øker kostnaden med trehøyden, og sjansen for skader på hovedtreslaget øker med tida. Ungskogpleien bør derfor skje før bestandet har nådd 5 meter (1-5 m høyde). På granmark med stor fare for høstskudd bør man vurdere å vente med å redusere tretallet til en høyde på ca 5 m, slik at en får flest mulig skadefrie fremtidstrær.

I noen tilfeller vil det være behov for to inngrep. Dette gjelder for eksempel når lauvskogen hindrer bartreplantenes vekst de første årene etter planting. Nytt lauvoppslag kan da gjøre det nødvendig med et nytt inngrep senere. Et annet eksempel er ved svært tette naturforyngelser i furu, der en løser opp i tettheten og fjerner trær med dårlig kvalitet ved høyde 1-1,5 m. Den endelige fristillingen gjøres senest ved 5 meter.

Når det gjelder utgangstetthet for bestand som er vindutsatt, er det en del motsetningsforhold både i teorien og i empirien når det gjelder sammenhengen mellom bestandstetthet, vind og faren for rotvelt. Dette diskuteres i kap. 3.4.3.

4.4 Tynning

Forskning viser at man får lavere volumproduksjon ved tynning, men en økt middeldimensjon som muliggjør økt tømmerpris og lavere driftskostnader ved sluttavvirkning. Forskjellen er imidlertid ikke så stor, slik at det ser ut som man i mange tilfeller ikke kan forsvare tynning økonomisk. I mange områder er det i dag liten kultur og mindre kunnskap for tynning blant entreprenører pga. liten aktivitet de siste årene, og her kan det være tungt å få igangsatt tynningsdrifter.

Tynning anbefales der forholdene ligger til rette for det. Bl.a. på steder der tynning kan forsvares økonomisk ved at driftskostnadene er lavere enn salgsprisen, vanligvis slippisen. Et bestand er ustabil de første årene etter en tynning, og der det er risiko for kalamiteter, for eksempel i vindutsatte bestand, bør man være forsiktig med tynning. Likedan på råteutsatt mark.

I et tynningsfritt skogbruk kan man gå inn med en sen avstandsregulering (f.eks. ved fem meters høyde), og så la skogen stå frem til sluttavvirkning. Se kap. 4.3.

Det er også en risiko forbundet med å ikke tynne. En ustelt, ustabil og svak skog kan være et lett bytte for sopp og insekter. En ustelt skog er også utsatt for klimarelaterte skader og vind.

Det er utarbeidet flere maler for når, hvor sterkt og hvor ofte en bør tynne (f.eks. Skogkurs samt flere skogeierforeninger). Et skogbestand bør i utgangspunktet være stelt og ha gjennomgått en form for ungskogpleie eller rydding på forhånd, slik at bestandet tåler et tynningsinngrep. I tillegg har det også stor betydning for økonomien ved tynning om bestandet har gjennomgått en ungskogpleie. Blir det for tett med uønskede dimensjoner og mye kratt vanskeligjør dette sikten og øker tidsbruken, det blir økt treantall pr. m³ i driften og til sammen reduserer dette økonomien ved tynning.

Bestandet bør ikke tynnes ved større høyder enn 20 m, men mange praktiserer en enda lavere maksgrense. I vindutsatte bestand bør tynning ikke utføres i bestand over ca 15 m. Første gangs tynning anbefales ved 12-14 m overhøyde, og andre gangs tynning ved 16-18 m. Det tynnes oftest to ganger i furu, mens gran vanligvis bare tynnes en gang.

Det anbefales ikke å ta ut mer enn halvparten av treantallet og ikke mer enn 30 % av volumet av hensyn til stabilitetsfaren. Av hensyn til driftsprisen bør ikke treantallet ligge høyere enn ca 15 trær/m³ – ellers blir driftskostnaden for høy.

Det er fortsatt mange usikkerhetsfaktorer som har betydning for om tynning bør anbefales eller ikke. Kunnskapsbehovet påpekes i kapittel 5.

4.5 Gjødsling

Den vanlige gjødseldosen som brukes ved gjødsling av skog på fastmark i Norge er 15 kg nitrogen per dekar (150 kg per hektar). Med denne dosen kan man forvente en økt tilvekst på 0,1-0,2 m³ per dekar og år i 6-10 år, eller rundt 1,5 m³ «ekstra».

Følgende bestand er best egnet for gjødsling på fastmark:

- Vegetasjonstyper: blokkebær-, bærlyng-, blåbær-, småbregne- og storbregnemark (jfr. Norsk PEFC Skogstandard)
- Middels til gode boniteter (ca. F/G 11 til 17)
- Podsolprofil
- Minst 80 % av trærne er bartrær
- Full tetthet, og sunne trær med god kvalitet (gjærne tynnete bestand)
- Ingen avvirkning de neste 10 år

Med basis i rapporten «Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak» (Miljødirektoratet mfl. 2014) anslås det at potensielt årlig gjødslingsareal i Norge ligger mellom 60 000 – 120 000 dekar.

4.6 Foryngelseshogst

Valg av hogstform og -tidspunkt må ta utgangspunkt i egenskaper ved bestand og voksested, og pris- og kostnadsbildet som er gjeldende. Rent biologisk gir ensalderskogbruk (flatehogst, frøtrestillingshogst) høyest produksjon over tid, men et areal eller områdes funksjon kan kreve tilpasninger i hogstformen som for eksempel gir mer kontinuitet i kronedekke. Tilpasning av hogstform kan også være nødvendig der det er høy risiko for skader som følge av vind eller snø, men det er vanskelig å gi entydige råd om dette.

Det er mange parametere som påvirker optimalt hogsttidspunkt. Utvikling i biologisk vekst, tømmerpris, driftskostnad og risiko knyttet til disse er viktige. I hovedsak synes nedre aldersgrense for hogstklasse V å sammenfalle med økonomisk hogstmodenhet ved et (reelt) avkastningskrav på omkring 3%. Dette kan være et utgangspunkt for å vurdere et skogbestands hogstmodenhet. Utover dette kan det være spesielle forhold, for eksempel knyttet til endringer i tømmerpriser eller driftskostnader, som gjør det naturlig å avvike fra dette. Regelverket i PEFC angir nedre aldersgrense for hogst som er betydelig lavere enn nedre alder for hogstklasse V. Normalt er endringen i et bestands verdi relativt liten over en viss tid rundt optimalt hogsttidspunkt, slik at det er betydelig fleksibilitet knyttet til valg av faktisk hogstaldet.

Det er gjort lite forskning i Norge om hvordan risiko påvirker optimalt hogsttidspunkt, og det er vanskelig å gi konkrete råd om hvordan risiko for råte, vindskader eller endringer i priser og kostnader påvirker optimalt hogsttidspunkt.

5 Kunnskapshull oppsummert

I dette kapittelet oppsummeres de viktigste kunnskapshullene som er identifisert gjennom rapporten. De er ikke rangert.

5.1 Innledning

I Norge har det generelt vært lite fokus på tilpassing av skogbehandling til et endret klima, og dette er et område som fortjener mer oppmerksomhet både i forskningen og i det praktiske skogbruk. Et endret klima vil påvirke både skogens vekst og risikoen for skader. De forventede klimaendringene vil formodentlig føre til bedre vekstforhold for norsk skog. Effekter på vekstratene vil likevel variere mellom ulike deler av landet og mellom ulike bestandstyper. Samtidig vil klimaendringene føre til et endret risikobilde både med hensyn biotiske og abiotiske skader. Det er usikkerhet om hvilken overordnet effekt en økt frekvens av skader, kombinert med økte vekstrater, vil ha på skogens evne til produksjon av tømmer. Videre må det fremheves at det er veldig stor forskjell på hvilke konsekvenser man kan forvente under de ulike klimascenarioene. Dersom fremtiden blir på linje med utslippsscenarioet «RCP8.5» der utslippene av klimagasser fortsetter å øke helt fram til slutten av dette hundreåret, og er i tråd med de nåværende utslipp vil klimaendringene i Norge bli ganske dramatiske. Dette vil resultere i veldig stor usikkerhet om skogens fremtidige dynamikk og produksjonsevne.

Grunnleggende sett er tilpasningen av skogbehandlingen til et endret klima i stor grad en tilpasning til et endret risikobilde, hvor beslutninger tas under usikkerhet om fremtiden. I norsk skogsektor har det generelt vært lite fokus på hvordan disse faktorene tas med i beslutningsprosessen. Gitt de forventede potensielt store klimaendringene bør det utvikles bedre rammeverk for hvordan man inkluderer både et endret risikobilde så vel som usikkerhet i beslutninger relatert til norsk skogbehandling. I mange andre regioner, inkludert våre naboland, er det gitt konkrete anbefalinger om både endringer i treslagsvalg og/eller forkortet omløpstid for gran. I Norge er vi ikke i en situasjon hvor entydige anbefalinger kan gjøres. Samtidig er det slik at både forskningen, planteforedlingen og det praktiske skogbruket har fokusert på gran. Gitt usikkerheten om fremtiden spør det om det ikke er fornuftig å øke fokus på muligheter for andre treslag i tillegg til gran i årene som kommer, både i forskningen, planteforedlingen og det praktiske skogbruk.

5.2 Kunnskapshull innen hvert område

5.2.1 Betydning av klimaendringer for skogen

5.2.1.1 Skogens vekst og utvikling

Med mer ekstreme klimahendelser og generelle endringer i klima i ulike årstider er et viktig spørsmål hvordan disse klimaendringene vil påvirke skogens tilvekst og totalproduksjon. En forståelse av konsekvensene av klimaendringer på skogens vekst er kritisk for å forutsi fremtidig biomasse- og volumutvikling, samt å forstå hvordan skogen vil påvirke det globale karbonkretsløpet.

Med noen få unntak er det lite informasjon tilgjengelig angående antatte endringer i skogens tilvekst og produksjon på grunn av et endret klima i Norge.

5.2.1.2 Skader og risiko

Abiotiske skader (kap. 2.2.2.1.)

Vi forventer at klimaendringer vil føre til flere abiotiske skader, som klimatiske vinterskader, tørke- og stormskader, men klimascenarioene gir ikke noe entydig bilde av i hvilken grad dette vil skje.

For å kunne gi råd om valg av plantemateriale, gitt denne usikkerheten om fremtiden, er det derfor en viktig oppgave framover å etablere bedre kunnskap om plantematerialenes respons på klimatisk variasjon.

Når det gjelder stormstabilitet i bestand av produksjonsskog er det behov for mer presis kunnskap om skogbehandling vs. bestandstetthet gjennom omløpet.

Biotiske skader (kap.2.2.2.2.)

Det er vanskelig å forutse eksakt hvordan klimaendringer kommer til å påvirke generell skoghelse, siden biotiske skader oppstår som resultat av komplekse og dynamiske interaksjoner mellom trær, miljø og skadegjørere.

Når det gjelder **granbarkbillen**, er det fortsatt store kunnskapshull i sammenhengen mellom skogbruksplanlegging og risikoen for barkbilleutbrudd. Ny forskning på dette er imidlertid mulig med utgangspunkt i stadig bedre overvåkingsdata fra barkbilleovervåkingen og kartbaserte data med skogstruktur.

Det er usikkert hvorvidt nåværende utbredelsesområder til **rotkjukearter** er bestemt av edafiske eller klimatiske faktorer, men en mulig følge av klimaendring er at fururotkjuke sprer videre nordover langs kysten i Norge og at granrotkjuka lettere kan spre seg nord for Saltfjellet. Det kan også være mulig at edelgranrotkjuke og amerikansk fururotkjuke kommer til landet.

Basert på spredningsbiologien til rotkjuke, har man gode grunn til å forvente at en eventuell klimaendring vil fortsette å øke omfanget til rotkjuka i Norge.

5.2.2 Foryngelse

Markberedning (kap. 3.2.2.)

Vi mangler kunnskap om effekten av markberedning på tjukk organisk jord og steinrik jord. Vi vet også lite om hvordan markberedning påvirker lauvoppslaget på forskjellige jordtyper. Mer kunnskap om effekt av forskjellige markberedningsmetoder på forskjellige jordtyper/geografiske områder er ønskelig, samt kunnskap om økonomien ved markberedning som en del av hele bestandsetableringskjeden. Hvilke metoder/teknologi skal anvendes under ulike forhold, for å få best mulig totaløkonomi fram til første tynning?

Kjemisk ugraskontroll (kap. 3.2.3.)

Økt forekomst og omfang av rødhyll og andre svartelista plantearter som kjempespringfrø gir et økt behov for kunnskap om tiltak retta spesielt mot disse artene. Den store nedgangen i omfang av sprøyting i skog tilsier også et behov for utvikling av metodikk og gode strategier for ikke-kjemisk vegetasjonskontroll i skog.

Plantetype (kap. 3.2.4.)

Resultatkontroll skogbruk/miljø identifiserer konkurrerende vegetasjon og insekter (snutebiller) som hovedårsaker til avgang i plantefelt. Kraftige planter med godt topp/rot forhold og størst mulig rothalsdiameter vil bedre etableringsvilkårene. Det må derfor være en målsetting å jobbe mot kontinuerlig forbedring av rutiner i dyrkingsfasen for å oppnå dette.

Et ønske om å strekke plantesesongen lengst mulig og også et ønske om å ha mest mulig høstplanting tidlig av hensyn til snutebilleskader, gir utfordringer i forhold til hvilket tidspunkt plantene er leveringsklare fra planteskolene. Planter tåler mindre håndtering og mellomlagring ved høstlevering, spesielt tidlig høstlevering, og det er behov for mer kunnskap om plantenes toleranse i denne fasen og hvordan toleransen kan økes.

Valg av plantemateriale (kap. 3.2.5.)

Dagens veiledning for bruk av plantematerialer er relativt statisk i forhold til de store klimaendringene vi må forvente. Om kort tid vil planter fra de nye frøplantasjene som ble etablert fra resultatene i første foredlingssyklus bli tilgjengelig for skogbruket. Disse vil gi høyere foredlingsgevinst enn de eldre plantasjene vi har høstet frø fra til nå. En viktig oppgave framover blir derfor å etablere bedre kunnskap om plantematerialenes respons på klimatisk variasjon, slik at vi kan utvikle bedre veiledningsverktøy for optimal anvendelse i skogbruket.

I Norge har furu tradisjonelt blitt naturlig forynget etter hogst. Til planting er det blitt brukt bestandsfrø. Foredlingsprogrammet har derfor vært nedprioritert slik at det bare er i Trøndelag vi kan bruke norsk foredlet frø nå. Endringer i foryngelsespraksisen bidrar imidlertid til at det nå er økt etterspørsel etter foredlet furufrø også på Østlandet og det er ønskelig å starte foredlingsaktiviteten raskt igjen. På kort sikt må vi imidlertid dekke behovet for foredlet frø gjennom import. Vi må derfor identifisere frøplantasjer i Sverige og Finland som kan brukes i Norge.

Plantetetthet (kap. 3.2.6.)

Det er behov for å få lagt ut forbandsforsøk med foredlet plantemateriale og bestandsfrø slik at en kan få svar på om det nye plantematerialene flytter maksimalproduksjon og nåverdi i retning av tettere skog. I slike forsøk i Douglas er det vist at foredlingsgevinsten er større ved høy enn ved lav bestandstetthet (Ye m.fl. 2010). Forsøkene bør legges ut slik at vi får bedre informasjon om optimalt plantetall på marginal mark og på svært rik mark i lavlandet der tilveksten i avkomforsøk nå er ekstremt høy.

Snutebiller (kap. 3.2.7.)

Det ants at snutebilleskadene vil fortsette å øke i et varmere klima. Det er fortsatt behov for mer kunnskap om hvilke områder som er mest utsatt for snutebilleskader, og tiltak som kan begrense skadene. Dette gjelder for eksempel effekten av forskjellige markberedningsmetoder på ulike jordtyper. Fortsatt utvikling og forbedring av (mekanisk) plantebeskyttelse som er holdbar i minst to sesonger er også nødvendig.

Suppleringsbehov (kap. 3.2.8.)

Det er behov for å kunne gi mer konkrete råd om hvor store «hull» bestandet skal ha før det lønner seg å suppleringsplante, og om tidsaspektet ved suppleringsplante.

5.2.3 Treslagsvalg

Det er lite kunnskap om veksten i blandingsbestand gjennom et helt omløp. Kunnskap om dette er imidlertid svært relevant i et endret klima. Det er også behov for regionalt tilpassede og mer detaljerte studier av hvordan vekstforholdene for normalt forekommende treslag endrer seg ved forventede klimaendringer. Dette gjelder spesielt granas vekstforhold langs den sørlige grensen for utbredelse. I slike områder kan det være aktuelt å teste ut ulike treslag og treslagsblandinger, med hensyn til risiko i et fremtidig endret klima.

De produksjonsmessige konsekvensene av skifte til gran på typisk furumark er mangelfullt klarlagt.

Med hensyn til råteskader er det behov for å utvikle kontrolltiltak og skogbehandlinger som reduserer fremtidige skader i råteutsatte bestand, og som samtidig tillater dyrking av treslag som er mottakelige for soppen.

5.2.4 Ungskogpleie

Det er en del motsetningsforhold både i teorien og i empiri når det gjelder sammenhengen mellom bestandstetthet, vind og faren for rotvelt og andre skader (kap. 3.4.3). Det er derfor et klart behov for mer kunnskap om bestandstetthet, stabilitet og skader i bestand av produksjonsskog.

5.2.5 Tynning

- Det er et behov for å undersøke effekten av tynning på rotnetto der man inkluderer dimensjonsfordeling, virkeskvalitet, driftskostnader og tømmerpris i beregningene. Er tynning ulønnsomt på arealer med høye driftskostnader, og kan en senere og noe kraftigere avstandsregulering gjøre at bestandet kan stå frem til sluttavvirkning.
- Betydningen av endret klima i bestandsutviklingsmodeller – bør tynning utføres sjeldnere eller oftere, svakere eller sterkere, tidligere, senere eller ikke i det hele tatt?
- Hvilke arealer er best egnet for tynning, og hvilke har høyest risiko?
- Skaderisiko ved dagens tynningsmetoder
- Modernisering og samling av ulike tynningsmaler i et interaktivt webbasert program (jf. svensk modell).

5.2.6 Gjødsling

Pr. i dag har vi ikke norske gjødslingsmodeller som nøyaktig kan predikere effekten av gjødsling på skogproduksjonen ut fra bonitet, vegetasjonstype, høyde over havet eller andre kjennetegn ved voksestedet, ut over de faktorene som er nevnt i avsnitt 3.6.2.

I rapporten til Miljødirektoratet mfl. (2014) trekkes det i tillegg fram en del områder relatert til miljøeffekter hvor vi mangler kunnskap. Det gjelder blant annet effekten på karbonlageret i jorda, og eventuell påvirkning på vannmiljø ved vanlige gjødslingsdoser.

5.2.7 Foryngelseshogst

For å forutsi verdi og verdiutvikling for et spesifikt skogbestand er det nødvendig med inngående kunnskap om utfallet ved hogst. Spesielt viktig er sortimentsfordeling og prisberegning. Mye av den kunnskapen som benyttes i dag er gammel. Ny teknologi forenkler innsamling av informasjon om trær og hogstutfall og dette bør utnyttes for å oppdatere eksisterende kunnskap.

Det er lite kunnskap om hvordan risiko påvirker skogforvaltningen generelt og hogstavgjørelsen spesielt. Dette er særlig aktuelt sett i lys av forventede klimaendringer. Det trengs mer kunnskap både om biologisk risiko og økonomisk risiko, og hvordan dette kan håndteres. Dette innebærer å forstå risiko og modellere hvordan forskjellige typer risiko oppstår og endrer seg, og å integrere denne kunnskapen om risiko i modeller for skogforvaltning både for bestand, regioner og nasjonalt.

6 Litteraturreferanser

- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (ed.) 2014. Metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.
- Agestam, E. 1985. A growth simulator for mixed stands of pine, spruce and birch in Sweden. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Rapport 15, 150 s.
- Agestam, E. 2015. Gallring. Skogsskötselserien nr 7, Skogsstyrelsen. 93 s.
- Albrecht, A., Hanewinkel, M., Bauhus, J. & Kohnle, U. 2012. How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations. *Eur. J. For. Res.* 131:229–247.
- Ancelin, P., Courbaud, B. & Fourcaud, T.Y. 2004. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. *Forest Ecology and Management* 203: 101–121.
- Andreassen, K. 1994. Development and yield in selection forest. *Communications of Skogforsk* 47(5):1–37.
- Andreassen, K. 1994. Bledning og bledningsskog – en litteraturstudie. *Aktuelt fra Skogforsk* 2/94:1–23.
- Andreassen, K., Eid, T. & Tomter, S.M. 2008. Bestandstilvekstmodeller for “alminnelig” ensaldret skog. *Forskning fra Skog og landskap*. 06/08: 19 s.
- Andreassen, K., Solberg, S., Tveito, O.E. & Lystad, S.L. 2006. Regional differences in climatic responses of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) growth in Norway. *Forest Ecology and Management* 222: 211–221.
- Anon. 2014. Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2014. The Finnish Forest Research Institute, Tampere.
- Antón-Fernández, C., B. Mola-Yudego, L. Dalsgaard & R. Astrup. 2016. Climate-sensitive site index models for Norway. *Canadian Journal of Forest Research* 46(6):794–803.
- Asiegbu F.O., Adomas, A. & Stenlid, J. 2005. Conifer root and butt rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s.l. *Mol. Plant Path.* 6:395–409.
- Ask JA., E. Bergseng, T. Gobakken, E. Framstad & H.F. Hoen (2005): Effekter på økonomi og skogstruktur ved skogbehandling tilpasset bevaring av biologisk mangfold i skog. I: Virkemidler for forvaltning av biologisk mangfold - Delrapport 3: Tiltak og virkemidler for vern av biodiversitet i skog og våtmarker. *TemaNord* 563: 155–206.
- Assmann, E. 1970. *The Principles of Forest Yield Study*. Pergamon, Press Inc., New York. 489 s.
- Augusto, L., Bakker, M.R. & Meredieu, C. 2008. Wood ash applications to temperate forest ecosystems - potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil* 306: 181–198.
- Bendz-Hellgren, M., Brandtberg, P.-O., Johansson, M., Swedjemark, G. & Stenlid, J. 1999. Growth rate of *Heterobasidion annosum* in *Picea abies* established on forest land and arable land. *Scand. J. For. Res.* 14:402–407.
- Bergan, J. 1981. Foryngelse av furuskog i Troms og Finnmark. *Rapp. Nor. inst. skogforsk.* 10/81. 69 s.
- Bergan, J. 1987. Virkningen av bjørkeskjerm på etablering og vekst hos bartrær utplantet i Nord-Norge. *Rapport fra Norsk institutt for skogforskning* 10/87: 47 s.

- Bergan, J. 1990. Overlevelse, høydeutvikling og skader hos gran (*Picea abies* (L.) Karst) plantet i markberedningshauger og urørt vegetasjon i høyereliggende skog i indre Helgeland. Rapport fra Norsk Institutt for skogforskning 1-19.
- Bergh, J., Linder, S. & Bergström, J. 2005. Potential production of Norway spruce in Sweden. *Forest Ecology and Management* 204: 1-10.
- Berlin M, Persson T, Jansson G, Haapanen M, Ruotsalainen S, Barring L & Gull BA. 2016. Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica* 50(3).
- Bielak, K., Dudzinska, M. & Pretzsch, H. 2014. Mixed stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst] can be more productive than monocultures. Evidence from over 100 years of observation of long-term experiments. *Forest Systems* 23: 573-589.
- Birks, H.J.B. & Tinner, W. 2016. Past forests of Europe. In: *European Atlas of Forest Tree Species* (eds. San Miguel Ayans, J., de Rigo D, Caudulio G, Houston Durrant, G. & Mauri, T.). Publication Office of the European Union, Luxembourg, pp. 36-39.
- Bjøre E.T. 1995. Infeksjon av rotkjuke og effekten av urea ved astandsregulering av gran. Hovedoppgave. Norges Landbrukshøgskole.
- Boisvert-Marsh, L. Perie, C. & DeBlois, S. 2014. Shifting with climate? Evidence for recent changes in tree species distribution at high latitudes. *Ecosphere* 5: 83.
- Bonnevie-Svendsen, C. & Skoklefald, S. 1965. Frøproduksjon i granskog. *Norsk Skogbruk* 11: 619–622.
- Bosela, M., I. Štefančík, R. Petráš & S. Vacek. 2016. The effects of climate warming on the growth of European beech forests depend critically on thinning strategy and site productivity. *Agricultural and Forest Meteorology* 222:21-31.
- Braastad H. 1970. Et forbandsforsøk med gran. *Meddelelser fra Det norske Skogforsøksvesen* 28: 295-329.
- Braastad, H. 1975. Produksjonstabeller og tilvekstmodeller for gran. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning* 31.9: 357-537.
- Braastad, H. 1977. Tilvekstmodellprogram for furu. *Meddr. Norsk inst. Skogforsk.* 35: 265-359.
- Braastad, H 1983. Forholdet mellom høydebonitet og produksjonsevne for gran, furu og bjørk på samme voksested. *Aktuelt fra Statens Fag tjeneste for Landbruket* 3: 50-59.
- Braastad, H. & Tveite, B. 2000a. Tynning i granbestand. Effekten på tilvekst, dimensjonsfordeling og økonomi. Rapport fra skogforskningen 4/00: 30 s.
- Braastad, H. og Tveite, B. 2000b. Ungskogpleie i granbestand. Effekten på tilvekst, diameterfordeling, kronehøyde og kvisttykkelse. Rapport fra skogforskningen 11/00. 24 s.
- Braastad, H. & Tveite, B. 2001. Tynning i gran- og furubestand. Effekt av tynning på volumproduksjon, middeldiameter og diameter av de 800 grøvste trær per ha. Rapport fra skogforskningen 10/01: 27 s.
- Braathe, P. 1984. Utviklingen av gjenvekst med ulike blandingsforhold mellom bartrær og løvtrær. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 11/84: 20 s.
- Braathe, P. 1988. Utviklingen av gjenvekst med ulike blandingsforhold mellom bartrær og løvtrær - II. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 8/88: 50 s.
- Braathe, P. 1992. Investigations concerning the development of regeneration of Norway spruce which is irregularly spaced and of varying density. 3. Supplementary planting. *Meddelelser fra Skogforsk* 45.4: 64 s.
- Brantseg, A. 1969. Furu sønnafjells. Produksjonstabeller. *Meddr norsk SkogforskVes.* 26: 1-291.

- Brantseg, A., Brekka, A. & Braastad, H. 1970. Gjødslingsforsøk i gran- og furuskog (Fertilizer Experiments in Stands of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*). Medd. fra Det norske Skogforsøksvesen 100: 540-607.
- Bravo-Oviedo, A., Pretzsch, H., Ammer, C., mfl. 2014. European Mixed Forests: definition and research perspectives. *Forest Systems* 23: 518-533.
- Briceño-Elizondo, E., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H., Matala, J. & Kellomäki, S. 2006. Sensitivity of growth of Scots pine, Norway spruce and silver birch to climate change and forest management in boreal conditions. *Forest Ecology and Management* 232(1–3):152-167.
- Bryn, A. 2008. Recent forest limit changes in south-east Norway: Effects of climate change or regrowth after abandoned utilisation?. *Norsk Geografisk Tidsskrift*. ISSN 0029-1951. 62(4), s 251- 270.
- Bryn, A.; Dourojeanni, P.; Hemsing, L. & O'Donnell, S. 2012. A high-resolution GIS null model of potential forest expansion following land use changes in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*. ISSN 0282-7581. 28(1), s 81- 98.
- Bryn, A., Horvath, P., Volden, I. & Stordal, F. 2017. Skogen er på fjelltur. *Kronikk i Aftenposten* 13.03.2017
- Brække, F.H., Knudsen, T. & Sexe, K. 1986. Skogkultur på en problemflate: Effekter av markberedning - ugrasssprøyting - gjødsling - plantetyper - planteplass. Rapport fra Norsk Institutt for skogforskning 2/86: 15 s.
- Bøe, L.V. 2014. Skogbehandling - før stormen kommer. Temahefte fra Skogbrand. 8 s.
- Böhmer, J.G. 1957. Bledningsskog II. *Tidsskrift for Skogbruk* 65:203-247.
- Børset, O. 2002. Norsk skogskjøtsel i siste centennium. Betydningen av impulser fra andre land. Rapport Norges Landbrukshøgskole 1/2002:8-25.
- Carneros E, Yakovlev I, Viejo M, Olsen J & Fossdal CG. 2017. The epigenetic memory of temperature during embryogenesis modifies the expression of bud burst-related genes in Norway spruce epitypes. *Planta*. doi:10.1007/s00425-017-2713-9.
- Chen, H.Y.H., & Y. Luo. 2015. Net aboveground biomass declines of four major forest types with forest ageing and climate change in western Canada's boreal forests. *Global Change Biology* 21(10):3675-3684.
- Cucchi, V. & Bert, D. 2003. Wind-firmness in *Pinus pinaster* Ait. stands in Southwest France: influence of stand density, fertilisation and breeding in two experimental stands damaged during the 1999 storm. *Annals of Forest Science* 60: 209-226.
- Cullingham C.I., Cooke J.E.K., Dang S., Davis C.S., Cooke B.J. & Coltman D.W. 2011. Mountain pine beetle host-range expansion threatens boreal forest. *Mol. Ecol.* 20: 2157-2171.
- Curtis, R.O., Marshall, D.D. & Bell, J.F. 1997. LOGS: A pioneering example of silvicultural research in coast Douglas-Fir. *Journal of Forestry* 95:19-25.
- Dale, Ø., Kjøstelsen, L. & Aamodt, H. 1993. Forest operations for multiple use. Research Paper from Norwegian Forest Research Institute 20/93:3-23.
- Dale, Ø. & Stamm, J. 1994. Base data for harvesting costs analysis of alternative silvicultural methods. Research Paper from Norwegian Forest Research Institute 7/94: 1-33.
- Dalsgaard, L., Granhus, A., Sjøgaard, G., Andreassen, K., Børja, I., Clarke, N., Kjønaas O.J. & Stokland, J. 2015. Karbondynamikk ved ulike hogstformer og avvirkningsstrategier. En litteraturstudie med fokus på Oslo kommuneskog. Oppdragsrapport fra Skog og landskap, 04/2015. 83 s.

- Dormling I. 1977. Kritisk nattlangd för knoppsättning hos gran av olika härkomst: Inverkan av ljusintensitet och temperatur. Stockholm: Skoghögskolan, Institutionen för Skogsgenetik.
- Dæhlen AG, Johnsen Ø, Kohmann K. 1995. Høstfrosthedighet 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.
- Eid, T. 1998. Long term prognosis and functions for calculating operational costs in mechanised harvesting. Research Paper from Norwegian Forest Research Institute 7/98:1-31.
- Lexerød N. & Eid, T. 2004. Potensielt areal for selektive hogster i barskog - en kvantifisering basert på Landsskogtakseringens prøveflater. Rapport fra skogforskningen 7/04: 35 s.
- Eid, T. & Øyen, B.H. 2003. Models for prediction of mortality in even-aged forest. Scandinavian Journal of Forest Research 18: 64-77.
- EPPO 2015. Pest risk analysis for *Heterobasidion irregulare*. EPPO, Paris. Available at http://www.eppo.int/QUARANTINE/Pest_Risk_Analysis/PRA_intro.htm
- Eriksson, S., Karlsson, A.-B. & Härlin, C. 2017. Test av mekaniska plantskydd mot snytbagger i omårberedd och markberedd mark, anlagt våren 2013. Slutrapport. SLU, Enheten för skoglig fältforskning, Åsa. 25 s.
- Fahlvik, N. 2017. Simulated long-term effects on growth and economy of different strategies for precommercial thinning in *Pinus sylvestris*. Presentation at SNS conference in Norway June 2017.
- Finstad, K. 2002. Prisflater for gran hvor virkesfeil inngår. Aktuelt fra skogforskningen 6/02. 30-31.
- Fjærli, A.F. 2016. Råte i granskog på nord-Vestlandet. Masteroppgave. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Fløistad, I.S., Granhus, A. & Lindström, A. 2007. Effekt av markberedning ved bruk av miniplanter og konvensjonelle pluggplanter. Forskning fra Skog og landskap 3/07: 39-42.
- Fløistad, I. & Granhus, A. 2013. Timing and duration of short-day treatment influence morphology and second bud flush in *Picea abies* seedlings. *Silva Fennica* 47: 1-10. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1009>.
- Fløistad, I. S., Granhus, A. & Hanssen, K. H. 2009. Norway. Forest vegetation management in Europe. I. Willoughby, P. Balandier, N. S. Bentsen, N. McCarthy & J. Claridge. Brussels, COST office: 156.
- Fløistad, I. S., Holm, A. K., Finne, E., Kringlebotn, T., Lysø, M., Owren, K., Skrøvset, B., Sønsteby, F., Thaulé, A. B. & Aarnes, V. (2014). Bekjempelse av rødhyll (*Sambucus racemosa*). Bioforsk rapport 9: 18 p.
- Frivold, L.H. 1986. Frøforyngelse av bjørk og gran på hogstflater i lavlandet østafjells, i relasjon til vegetasjonstype og fuktighet. Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning 39: 67-84.
- Gardiner, B.A., Stacey, G.R., Belcher, R.E., Wood, C.J. 1997. Field and wind tunnel assessments of the implications of respacing and thinning for tree stability. *Forestry*. 70: 233-252.
- Gammel, P. (1987). Development of beeted seedlings in stands of *Picea abies* (L.) in southern Sweden Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences. 25 s.
- Gammel, P. & Nilsson, U. (1990). Competition between originally planted and beeted seedlings in stands of Norway spruce and Scots pine. Rapporter 27. SLU, Institutionen för Skogsskötsel. 32 s.

- Gizachew, B. & Brunner, A. 2011. Density-growth relationships in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine stands in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26: 543-554.
- Gizachew, B., Brunner, A. & Øyen, B.H. 2012. Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27: 637-648.
- Granhus, A. & Dietrichson, J. 1997. Yield of biomass in young mixed forests of birches (*Betula pendula* Ehrh. & *Betula pubescens* Roth) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Finnish Forest Research Institute, Research Papers 640: 25-34.
- Granhus, A. & Fløistad, I.S. 2010. Naturlig foryngelse etter markberedning på middels bonitet (G14). *Forskning fra Skog og landskap* 23.
- Granhus, A., Brække, F.H., Hanssen, K.H. & Haveraaen, O. 2003. Effects of partial cutting and scarification on planted *Picea abies* at mid-elevation sites in south-east Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 237-246.
- Granhus, A., Fløistad, I.S. & Eriksen, R. 2015. Hogst og foryngelse av granskog: Tilstandsbeskrivelse basert på Resultatkontroll skogbruk/miljø og Landsskogtakseringen. Rapport fra Skog og landskap 04/2015: 23 s.
- Granhus, A., Eriksen, R. & Nilsen, J.-E.Ø. 2016. Resultatkontroll skogbruk/miljø. Rapport 2015. NIBIO Rapport Nr. 142. NIBIO. Ås. 34 s.
- Grossnickle, S. C. 2000. Ecophysiology of northern spruce species. The performance of planted seedlings, NRC Research Press, Ottawa.
- Grossnickle, S. C., El-Kassaby, Y. A. 2016. Bareroot versus container stocktypes: a performance comparison. *New Forests* 47: 1-51. 10.1007/s11056-015-9476-6.
- Haapanen M, Jansson G, Nielsen UB, Steffenrem A & Stener LG. 2015. The status of tree breeding and its potential for improving biomass production - A review of breeding activities and genetic gains in Scandinavia and Finland. Uppsala: Skogforsk, Sweden.
- Hamilton G.J., & Christie, J.M. 1974. Influence of spacing on crop yield and characteristics. *Forestry Commission Bulletin* 52, 1-91.
- Handler, M.M. 1988. Forbandtsforsøg i granskov. Tæthet, tilvækst, diameterspredning og kvalitet. Forsøg 928, Mathiesen-Eidsvold Værk, Hurdal. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 1/88. 20 s.
- Hanssen, K.H. 2010. Snutebilleskader på Vestlandet og i Trøndelag 2009. Rapport fra Skog og landskap 01/2010. 19 s.
- Hanssen, K.H. 2012. Snutebilleundersøkelsen 2010 - Hedmark og Oppland. Oppdragsrapport fra Skog og landskap. Norsk institutt for skog og landskap 02/2012. 10 s.
- Hanssen, K.H. & Kvaalen, H. 2017. Effects of repeated fertilization in young Norway spruce forests. In prep.
- Hanssen, K.H., Granhus, A., Brække, F.H. & Haveraaen, O. 2003. Performance of sown and naturally regenerated *Picea abies* seedlings under different scarification and harvesting regimens. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 351-361.
- Hedgren, P.O., Schroeder, L.M. & Weslien, J., 2003. Tree killing by *Ips typographus* (Coleoptera : Scolytidae) at stand edges with and without colonized felled spruce trees. *Agricultural and Forest Entomology* 5: 67-74.
- Hedwall, P.O., Gong, P.C., Ingerslev, M. & Bergh, J. 2014. Fertilization in northern forests - biological, economic and environmental constraints and possibilities. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29: 301-311.

- Heiskanen, J. & Viiri, H. 2005. Effects of mounding on damage by the European pine weevil in planted Norway spruce seedlings. *Northern Journal of Applied Forestry* 22: 154-161.
- Hember, R.A., W.A. Kurz, & N.C. Coops. 2017. Increasing net ecosystem biomass production of Canada's boreal and temperate forests despite decline in dry climates. *Global Biogeochemical Cycles* 31(1):134-158.
- Hember, R.A., W.A. Kurz, J.M. Metsaranta, T.A. Black, R.D. Guy, & N.C. Coops. 2012. Accelerating regrowth of temperate-maritime forests due to environmental change. *Global Change Biology* 18(6):2026-2040.
- Hietala, A.M., Dörsch, P., Kvaalen, H. & Solheim, H. 2015. Carbon dioxide and methane concentrations in Norway spruce stems infected by white-rot fungi. *Forests* 6, doi:10.3390/f6093304
- Hietala, A.M., Nagy, N.E., Burchardt, E. & Solheim, H. 2016a. Interactions between soil pH, wood heavy metal content and fungal decay at Norway spruce stands. *Applied Soil Ecology* 107:237-243.
- Hietala, A.M., Solheim, H. & Talbot, B. 2016b. Råte i granskog: Det er store forskjeller i kjennskap til forekomst og kontrolltiltak innen norsk skogbruk. *NIBIO POP* 2(28).
- Hine, L.G. 1988. Plantetype- og plantemetodeforsøk med gran og sitkagran på Vestlandet. Rapport fra Norsk institutt for skogforskning 6/88: 24 s.
- Horntvedt, R., 1988. Resistance of *Picea abies* to *Ips typographus*: tree response to monthly inoculations with *Ophiostoma polonicum*, a beetle transmitted blue-stain fungus. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3: 107-114.
- Huse, K.J., Solheim, H. & Venn, K. 1994. Råte i gran registrert på stubber etter hogst vinteren. *Rapp. Skogforsk* 23/94.
- Huse, K.J., Solheim, H. & Pettersen, J. 2013. Råtebekjempelse. Skogkurs resymé nr. 3. Skogbrukets Kursinstitutt, Biri.
- Jacobson, S. & Pettersson, F. 2010. An assessment of different fertilization regimes in three boreal coniferous stands. *Silva Fennica* 44: 815-827.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Sikström, U., Nyström, K. & Övergaard, B. 2008. Ingvar – gallringsmall och planeringsinstrument. *Skogforsk. Resultat* nr 10–2008, 4s
- Jenssen, E. K. 2015. Mekanisk nedkapping som tiltak for å redusere rødhyll (*Sambucus racemosa*) i plantefelt av gran (*Picea abies*). Bacheloroppgave Skogbruk, Høgskolen i Hedmark.
- Johansson, K. 1992. Effect of initial spacing on stem and branch properties and graded quality of *Picea abies* (L.) Karst. *Scandinavian Journal of Forest Research* 7: 503-514.
- Johansson, K., Hajek, J., Sjölin, O., Normark, E. 2015. Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* – a comparison between seedling size, species, and geographic location of the planting site. *Scandinavian Journal of Forest Research* 30: 388-400. 10.1080/02827581.2014.987808.
- Johansson, K., Nilsson, U. & Örlander, G. 2013. A comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce. *Forestry* 86: 91-98.
- Johnsen Ø., Dæhlen O.G., Ostreng G., Skrøppa, T. 2005b. Daylength and temperature during seed production interactively affect adaptive performance of *Picea abies* progenies. *New Phytologist* 168(3):589-596.

- Johnsen O., Fossdal C. G., Nagy N., Molmann J., Daehlen O.G., Skrøppa T. 2005a. Climatic adaptation in *Picea abies* progenies is affected by the temperature during zygotic embryogenesis and seed maturation. *Plant Cell and Environment* 28(9):1090-1102.
- Johnsen, Ø., Kvaalen, H., Yakovlev, I., Dæhlen, O.G., Fossdal, C.G. & Skrøppa, T. 2009. An Epigenetic Memory From Time of Embryo Development Affects Climatic Adaptation in Norway Spruce. In: Gusta I, Wisiewski M, Tanio K, editors. *Plant Cold hardiness – from Laboratory to the Field*. CABI Publ. p. 99-107.
- Jonsson, B. 1962. Yield of mixed coniferous forests. *Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut* 50(8), 143 s.
- Jonsson, B. 2001. Volume yield to mid-rotation in pure and mixed sown stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 211. 19 s.
- Karlsson, C. & Örlander, G. 2000. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 256-266.
- Karlsson, K. & Örlander, G. 2004. Naturlig förnygring av tall. Skogsstyrelsen, Rapport, 4, 90 s.
- Karlsson, M. & Nilsson, U. 2005. The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 205: 183-197.
- Karlsson, M., Nilsson, U. & Örlander, G. 2002. Natural regeneration in clear-cuts: Effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 131-138.
- Kauppi, P.E., M. Posch, and P. Pirinen. 2014. Large Impacts of Climatic Warming on Growth of Boreal Forests since 1960. *PLOS ONE* 9(11):e111340.
- Kelty, M.J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. I: Kelty, M.J., Larson, B.C., Oliver, C.D. (red.). *The ecology and silviculture of mixed-species forests*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nederland. 287 s.
- Koller, G. G. 2017. Plantekvalitet og etableringsevne hos toårige planter av gran (*Picea abies*). Masteroppgave, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Kohmann, K. 1999. Overlevelse og utvikling av ulike plantetyper av gran under ulike forhold i Oppland, Hedmark, Sør- og Nord-Trøndelag. Rapport fra skogforskningen 10/99: 1-27.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Comm. Inst. For. Fenn.* 114: 55 s.
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T. & Safranyik, L. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* 452: 987-990.
- Kvaalen, H. & Johnsen, Ø. 2008. Bud set in *Picea abies* is regulated by a memory of temperature during zygotic and somatic embryogenesis. *New Phytologist*. 177:49-59.
- Kärvemo, S., Rogell, B. & Schroeder, M. 2014. Dynamics of spruce bark beetle infestation spots: Importance of local population size and landscape characteristics after a storm disturbance. *Forest Ecology and Management* 334: 232-240.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 1994. Structure and yield of all-sized and even-sized conifer dominated stands on fertile sites. *Ann. Sci. For.* 51(2):97-109.
- Lähde, E., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Saksa, T. 2002. Development of Norway spruce dominated stands after single tree selection and low thinning. *Can. J. For. Res.* 32: 1577-1584.

- Lange, H., Økland, B. & Krokene, P. 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Interjournal for Complex Systems* 1648, http://interjournal.org/manuscript_abstract.php?1457663335
- Langsæter, A. 1941. Om tynning i enaldret gran-og furuskog. *Medd. Nor. Skogforsøksvæs* 8:131-216.
- Langvall O. 2011. Impact of climate change, seedling type and provenance on the risk of damage to Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings in Sweden due to early summer frosts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26:56-63.
- Lehtosalo, M., Mäkelä, A. & Valkonen, S. 2010. Regeneration and tree growth dynamics of *Picea abies*, *Betula pendula* and *Betula pubescens* in regeneration areas treated with spot mounding in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25: 213-223.
- Lindén, M. & Agestam, E. 2003. Increment and yield in mixed and monoculture stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* based on an experiment in Southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 155–162.
- Lindén, M. 2003. Increment and Yield in Mixed stands with Norway spruce in Southern Sweden. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 260. 42 s. + vedlegg.
- Lindner M, Fitzgerald JB, Zimmermann NE, Reyer C, Delzon S, van der Maaten E, Schelhaas MJ, Lasch P, Eggers J, van der Maaten-Theunissen M, Suckow F, Psomas A, Poulter B & Hanewinkel M, 2014. Climate Change and European Forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management* 146: 69-83.
- Lovdata.no. [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-05-06-455?q=forskrift om plantevernmidler](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-05-06-455?q=forskrift%20om%20plantevernmidler). [lest 11.03.17].
- Lund-Høie, K. 1976. Glyfosat – en løsning på ugrasproblemen i skogbruket? *Tidsskrift for skogbruk* 3: 1-7
- Lund-Høie, K. 1984. Growth responses of Norway spruce (*Picea abies* L.) to different vegetation management programmes-preliminary results. *Aspects of applied biology* 5: 127-133.
- Lundqvist, L. 1989. Blädning i granskog. Strukturförändringar, volymtillväxt, inväxning och föryngring på försöksytor skötta med stamvis blädning. Institutionen för skogsskötsel, Sveriges lantbruksuniversitet. Avhandling. 100 s. [English summary].
- Ma, Z., C. Peng, Q. Zhu, H. Chen, G. Yu, W. Li, X. Zhou, W. Wang, & W. Zhang. 2012. Regional drought-induced reduction in the biomass carbon sink of Canada's boreal forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109(7):2423-2427.
- Ma, Z., C. Peng, Q. Zhu, J. Liu, X. Xu, & X. Zhou. 2014. Long-Term Changes in Tree Basal Area Across the Boreal Zone, Canada. *Ecoscience* 21(3-4):232-241.
- Mäkinen, H. & A. Isomäki. 2004a. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 201:311-325.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004b. Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. *Forest Ecology and Management* 203:21-34.
- Mäkinen H., Nöjd P., Kahle H.P., Neumann U., Tveite, B., Mielikäinen K., Röhle H. & Spiecker H. 2002. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *Forest Ecology and Management* 171: 243-259.

- Marini, L., Økland, B., Jönsson, A.M., Bentz, B., Carroll, A., Forster, B., Grégoire, J.-C., Hurling, R., Nageleisen, L.M., Netherer, S., Ravn, H.P., Weed, A. & Schroeder, M. 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography* 40: 001–010.
- Mattsson, A. 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13: 227-252. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006590409595>.
- Mielikäinen, K. 1985. Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 133, 80 s.
- Mikola, P. 1984. Harsintametsätalous.(Selection system). *Silva Fennica* 18(3):293-301. [English summary].
- Miljødirektoratet, Landbruksdirektoratet & Norsk institutt for bioøkonomi. 2016. Vern eller bruk av skog som klimatiltak. M-519. 21 s.
- Miljødirektoratet, Statens landbruksforvaltning og Norsk institutt for skog og landskap. 2014. Målrettet gjødsling av skog som klimatiltak. Egnede arealer og miljøkriterier.. Miljødirektoratet. 143 s.
- Mitscherlich, G. 1952. Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. *SchrReihe Bad. forstl. Versuchsanst.* 8:3-42.
- Müller, M.M., Hantula, J., Henttonen, H., Huitu, O., Kaitera, J., Matala, J., Neuvonen, S., Piri, T., Sievänen, R., Viiri, H. & Vuorinen, M. 2012. Skogens helse (på Finsk). I: Asikainen, Antti, Ilvesniemi, Hannu, Sievänen, Risto, Vapaavuori, Elina & Muhonen, Timo (ed.). 2012. Bioenergi, klimaendring og finske skog (På Finsk). Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240. 211 s. ISBN 978-951-40-2378-1 (PDF). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>.
- Møller, C.M. 1954. The influence of thinning on volume increment. I. Results of investigations. In *Thinning problems and practices in Denmark*, eds. C. M. Møller, J. Abell, T. Jadg, and F. Junker, 5 - 32. Technical Publication 76. Syracuse: State University of New York College of Forestry.
- Mård, H. 1996. The influence of a birch shelter (*Betula* spp.) on the growth of young stands of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 343-350.
- Nesje, A., Bjune, A., Dahl, C.A., Jansen E. & A. Paus 2012. Klimavariasjoner etter siste istid: https://www.researchgate.net/publication/261142883_Klimavariasjoner_etter_siste_istid
- Nilsen, P. 1988. Fjellskoghogst i granskog – gjenvekst og produksjon etter tidligere hogster. Rapp. Nor. inst. skogforsk. 2/88. 26 s.
- Nilsen, P. 2001. Fertilization experiments on forest mineral soils: A review of the Norwegian results. *Scand J For Res.* 16: 541-554.
- Nilsson, U. & Fahlvik, N. 2006. Ekonomisk analys av praktisk produksjonsoptimering i granplanteringer. I: Sluttrapport för Fiberskogsprogrammet. Eds. J. Bergh & G. Oleskog. Inst f. Sydsvensk Skogsvetenskap, SLU. Arbetsrapport 27: 106-129.
- Nilsson, U. & Gemmel, P. 2007. Growth in supplementarily planted *Picea abies* regenerations. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 160-167.
- Nilsson, U., Elfving, B. & Karlsson, K. 2012. Productivity of Norway spruce compared to Scots pine in the interior of northern Sweden. *Silva Fennica* 46(2): 197–209.
- Nilsson, U., Örlander, G. & Karlsson, M. 2006. Establishing mixed forests in Sweden by combining planting and natural regeneration - Effects of shelterwoods and scarification. *Forest Ecology and Management* 237: 301-311.

- Nilsson, U., Agestam, E., Ekö, P.-M., Elfving, B., Fahlvik, N., Johansson, U., Karlsson, K., Lundmark, T. & Wallentin, C. 2010. Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden - effects of different thinning programmes on standlevel gross- and net stem volume production. *Studia forestalia Suecica* 219:46.
- Nohrstedt, H.O. 2001. Response of coniferous forest ecosystems on mineral soils to nutrient additions: A review of Swedish experiences. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 555-573.
- Nordlander, G., Hellqvist, C. & Hjelm, K. 2017. Replanting conifer seedlings after pine weevil emigration in spring decreases feeding damage and seedling mortality. *Scand J For Res.* 32: 60-67.
- Norsk klimaservicesenter 2015. Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. Rapport 2/2015. ISSN nr 2387-3027. 203 s.
- Norsk PEFC Skogstandard 2016. http://www.pefcnorger.org/side.cfm?ID_kanal=11 [lastet ned 19.06.2016]
- Nurminen T., Korpunen, H. & Uusitalo, J. 2006. Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. *Silva Fennica* 40(2): 335-363
- Nørgård-Nielsen, C. 2001. Vejledning i styrelsen af stormfaste og sundhed i nåletræbevoksninger. *Dansk Skovbrugs Tidsskrift* 4/01, 216 – 263
- Oliva, J., Samils, N., Bendz-Hellgren, M. & Stenlid, J. 2008. Urea treatment reduced *Heterobasidion annosum* s.l. root rot. *Forest Ecology and Management* 255: 2876-2882.
- Persson, P. 1975. Stormskador på skog : uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. Stockholm.
- Petterson, F. 1994. Predictive functions for impact of nitrogen fertilization on growth over five years. Skogforsk Report No. 3 1994. Uppsala, Sverige. 56 s.
- Petersson, M. & Örlander, G. 2003. Effectiveness of combinations of shelterwood, scarification, and feeding barriers to reduce pine weevil damage. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 33: 64-73.
- Petersson, M. & Örlander, G. 2007. Insekticiders varaktighet på plantor - Slutrapport. Sveriges lantbruksuniversitet. Asa försökspark. 20 s.
- Petersson, M., Örlander, G. & Nordlander, G. 2005. Soil features affecting damage to conifer seedlings by the pine weevil *Hyllobius abietis*. *Forestry* 78: 83-92.
- Piri, T. 2003. Silvicultural control of *Heterobasidion* root rot in Norway spruce forests in southern Finland. Regeneration and vitality fertilization of infected stands. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-The Finnish Forest Research Institute, Research Papers, 898, 64.
- Piri, T., Korhonen, K. & Sairanen, A. 1990. Occurrence of *Heterobasidion annosum* in pure and mixed stands in southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 113-125.
- Plantevernguiden.no. <https://www.plantevernguiden.no/index.jsp?hideAlert=true&crop1=-1&pest1=-1&preparation1=-1&action=search&searchString=glyfosat>. [lest 11.03.17].
- Pouttu A. & Annala E. 2010. Kirjanpainajalla kaksi sukupolvea kesällä 2010. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2010. Link: <https://doi.org/10.14214/ma.6951>
- Pretzsch, H. 2005. Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long-term experimental plots. *European Journal of Forest Research* 124:193-205.
- Pretzsch, H., P. Biber, G. Schütze, E. Uhl, & T. Rötzer. 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications* 5:4967.

- Pretzsch, H. & Schütze, G. 2009. Transgressive overyielding in mixed compared with pure stands of Norway spruce and European beech in Central Europe: evidence on stand level and explanation on individual tree level. *Eur J Forest Res* 128(2):183-204.
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46:627-638.
- Pukkala, T., Vettenranta, J., Kolström, T. & Miina, J. 1994. Productivity of mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 143–153.
- Pukkala, T., Laiho, O. & Lande, E. 2016. Continuous cover management reduces wind damage. *Forest Ecology and Management* 372: 120-127.
- Quine, C., Coutts, M., Gardiner, B., Pyatt, G. 1995. Forests and Wind: Management to Minimise Damage. *Forestry Commission Bulletin*. 114. 27 s.
- Rolandsen S. 2015. Skader på granforyngelse, Nord-Trøndelag. [Evenstad]: Høgskolen i Hedmark. p. 48.
- Ruiz-Benito, P., J. Madrigal-González, S. Ratcliffe, D.A. Coomes, G. Kändler, A. Lehtonen, C. Wirth, & M.A. Zavala. 2014. Stand Structure and Recent Climate Change Constrain Stand Basal Area Change in European Forests: A Comparison Across Boreal, Temperate, and Mediterranean Biomes. *Ecosystems* 17(8):1439-1454.
- Røren, R. & Eikeland, H. 1995. Gjødsling av yngre granskog på fastmark. Foreløpige resultater fra en forsøksserie i Nord-Trøndelag. *Aktuelt fra Skogforsk* 1/95: 10 s.
- Sahlén, K. and Goulet, F. 2002. Reduction of frost heaving of Norway spruce and scots pine seedlings by planting in mounds or in humus. *New Forests* 24: 175-182.
- Samset, I. 1995. Hundre år i forsøksskogen. *Rapp. Skogforsk* 9/95.
- Schroeder, M. & Dalin, P. 2016. Differences in photoperiod-induced diapause plasticity among different populations of the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius*. *Agricultural and Forest Entomology* (published online 27 September 2016).
- Simpson, D. G., Ritchie, G. A. 1997. Does RGP predict field performance? A debate. *New Forest* 13: 253-277. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006542526433>.
- Skogkurs. 2014. Markberedning. *Skogkurs resymé* nr. 9. Biri. 4 s.
- Skogsstyrelsen. 2014. *Skogsstatistisk årbok*. Skogsstyrelsen, Jönköping. 368 s.
- Skogfrøverket 2017. http://www.skogfroverket.no/artikkel.cfm?Id_art=72 [lest 08.03.17].
- Skrøppa, T., Edvardsen, Ø. M., Steffenrem, A., Kvaalen, H., Myking, T. 2015. Norsk perspektiv på nordisk samarbeid i skogfrøforsyningen. *Rapp. fra. Skog og landskap* 07/2015.
- Skrøppa, T. & Magnussen, S. 1993. Provenance Variation in Shoot Growth Components of Norway Spruce. *Silvae Genetica* 42(2-3):111-120.
- Skrøppa, T. & Steffenrem, A. 2015. Selection in a provenance trial of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) produced a land race with desirable properties. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31(5):439-449.
- Skrøppa T. & Steffenrem A. 2017. Høstskudd og toppskader i genetiske forsøk med gran; variasjon og sammenhenger med vekst og vekstrytme. *NIBIO Rapport* 23. 31 s.
- Solberg, S., Heggem, E.S.F., Søvde, N.E. & McInnes, H. 2017. Skogbehandling langs kraftlinjer. *Teorigrunnlag*. *NIBIO Rapport* 65. 39 s.

- Solberg, S., Andreassen, K., Antón Fernández, C., Børja, I., Čermák, J., Dalsgaard, L., Eklundh, L., Garcia, M., Gessler, A., Godbold, D., Hentschel, R., Kayler, Z., Madsen, P., Nadezhdina, N., Rosner, S., Světlík, J., Tollefsrud, M.M., Tveito, O.E. & Øyen, B.-H. 2013. Grantørkeprosjektet. Sluttrapport. Rapport fra Skog og landskap 22/13: V, 27 s.
- Solbraa, K. 2001. Skogskjøtsel. Gan forlag. 210 s.
- Sommerville, A. 1980. Wind stability: Forest layout and silviculture. New Zealand J. For. Sci. 10: 476-501.
- SSB 2017. <https://ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogkultur/aar>. [lest 2.06.17].
- Stokland, J.N., Bakkestuen, V., Bekkby, T., Rinde, E., Skarpaas, O., Thygeson, A.S., Yoccoz, N.G. & Halvorsen, R. 2008. Prediksjonsmodeller som verktøy for kartlegging, overvåking og forvaltning av biologisk mangfold – anvendelse, utviklingspotensial og utfordringer. Naturhistorisk museum (Oslo), Publikasjon 1: 1-72.
- Stokland, J.N. 2009. Climate change and expansion of oak forest biodiversity in northern Europe. Poster at GBIF Governing board conference. Copenhagen, Denmark on 6- 8 October 2009.
- Stoltz, N. 2016. Stormskador i granskog och dess samband med beståndsbehandlingen. Sveriges lantbruksuniversitet. Examensarbete nr 259. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, Alnarp.
- Søgaard, G., Eriksen, R., Astrup, R. & Øyen, B.-H. 2012. Effekter av ulike miljøhensyn på tilgjengelig skogareal og volum i norske skoger. Rapp. fra Skog og landskap 02. 38 s. + vedlegg.
- Søgaard, G., Granhus, A., Gizachew B., Clarke, N., Andreassen, K. & Eriksen R. 2015. En vurdering av utvalgte skogtiltak - innspill på veien mot Lavutslippssamfunnet 2050. Oppdragsrapport fra Skog og landskap, 02/2015. 49 s.
- Søgaard G, Kvaalen H., Granhus A., Sundheim I. S., Hanssen K. H., Steffenrem A. & Skrøppa T. 2010. Høstskudd hos gran kan være et økende fenomen. Glimt fra Skog og landskap 10:2
- Telewski, F.W. (1989). Structure and function of flexure wood in *Abies fraseri*. Tree Physiology 5: 113-121.
- Telewski, F.W., & Jaffe, M.J. (1986). Thigmomorphogenesis - the role of ethylene in the response of *Pinus taeda* and *Abies fraseri* to mechanical perturbation. Physiologia Plantarum 66: 227-233
- Tham, Å. 1988. Yield prediction after heavy thinning of birch in mixed stands of Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pendula*). Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion, Garpenberg. Rapport 23, 36 s.
- Tham, Å . 1994. Crop plans and yield predictions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) mixtures. Studia Forestalia Suecica 195, 21 s.
- Thorsén, A., Mattsson, S. & Weslien, J. 2001. Influence of stem diameter on the survival and growth of containerized Norway spruce seedlings attacked by pine weevils (*Hylobius* spp.). Scand J For Res. 16: 54-66.
- Tollefsrud, M.M., Timmermann, V., Schei, F.H. & Solheim, H. 2017. Forvaltning av ask i møte med askeskuddsjuken. NIBIO POP 3-6-2017.
- Tveite, B. 1967. Sambandet mellom grunnflateveid middelhøyde (H_L) og noen andre bestandshøyder i gran og furuskog. Meddr norske SkogforsVes. 22: 483-538.
- Tveite, B. 1977. A method for construction of site index-curves. Meddr norske SkogforsVes 27: 131-159.
- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T. & Harstela, P. 2010. Effect of Soil Preparation Method on Economic Result of Norway Spruce Regeneration Chain. Silva Fennica 44: 511-524.

- Valinger, E., Lundqvist, L., & Sundberg, B. 1995. Mechanical bending stress applied during dormancy and (or) growth stimulates stem diameter growth of Scots pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 886-890
- Valinger, E. & Fridman, J. 2011. Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management* 262: 398-403.
- Vestjordet, E. 1959. Avstandsregulering. Litteraturoversikt og noen foreløbige resultater av norske forsøk. *Tidsskrift for Skogbruk* 67: 59-82.
- Vestjordet, E. 1972. Diameterfordelinger og høydekurver for ensaldrede gransbestand. *Meddr norske SkogforsVes.* 29: 469-557.
- Vollbrecht, G., Gemmel, P. & Elfving, B. 1994. Forest management with the purpose of reducing windthrow and infection by *Heterobasidion annosum* in *Picea abies*—preliminary results from a field experiment. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp*.
- von Sydow, F. & Örlander, G. 1994. The influence of shelterwood density on *Hylobius abietis* (L) occurrence and feeding on planted conifers. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 367-375.
- Wallertz, K., Hanssen, K.H., Fløistad, I.S. & Hjelm, K. 2016. Effects of planting time on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage to Norway spruce seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 31: 260-272.
- Webster, C. R. & Lorimer, C. G. 2002. Single-tree versus group selection in hemlock-hardwood forests: are smaller openings less productive? *Can. J. For. Res.* 32:591-604.
- Wiedemann, E. 1932. Die Rotbuche 1931. Mitt. der PreuBischen Forstl. Verlag M. & H. Schaper, Hannover.
- Wu, C., R.A. Hember, J.M. Chen, W.A. Kurz, D.T. Price, C. Boisvenue, A. Gonsamo, & W. Ju. 2014. Accelerating Forest Growth Enhancement due to Climate and Atmospheric Changes in British Colombia, Canada over 1956-2001. *Scientific Reports* 4:4461.
- Ye, T., Jayawickrama, K.J.S. & St. Clair, J.B. 2010. Realized gains from block-plot coastal Douglas fir trials in the Northern Oregon Cascades. *Silvae Genetica.* 59: 29-39.
- Zeide, B. 2004. Optimal stand density: A solution. *Canadian Journal of Forest Research* 34:846-854.
- Zhang, J., Huang, S. & He, F. 2015. Half-century evidence from western Canada shows forest dynamics are primarily driven by competition followed by climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(13):4009-4014.
- Zhang, Q.H. & Schlyter, F. 2004. Olfactory recognition and behavioural avoidance of angiosperm nonhost volatiles by conifer-inhabiting bark beetles. *Agric. For. Entomol.* 6, 1–20.
- Zimmermann mfl. 2011. MOTIVE Deliverable D2.4: Report on projected species and productivity shifts [version: 12.12.2011].
- Zimmermann, N.E., Normand, S., Pearman, P.B. & Psomas, A. 2013. Future Ranges in European Tree Species. Pages 15-21 in: Fitzgerald J & Lindner M (eds), *Adapting to Climate Change in European Forests - Results of the MOTIVE Project*. Pensoft Publishers, Sofia, 108 s.
- Økland, B., Netherer, S. & Marini, L. 2015. The Eurasian spruce bark beetle: the role of climate. In: Björkman, C., Niemelä, P. (Eds.), *Climate Change and Insect Pests*. CABI, Wallingford UK: 202-219.
- Økland, B., Nikolov, C., Krokene, P. & Vakula, J. 2016. Transition from windfall- to patch-driven outbreak dynamics of the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management* 363, 63-73.

- Økland, B. & Wollebæk, G. 2016. Granbarkbillen. Registrering av bestandsstørrelsene i 2016. NIBIO Rapport 2(129). 25 s. (kan lastes fra <http://www.skogoglandskap.no/temaer/barkbilleovervaking>).
- Örlander, G., Hallsby, G., Gemmel, P. and Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* - 10-year results from a site preparation trial in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 160-168.
- Øvergård, T. 2014. Standard for markberedning. Skogkurs. Biri. 4 s.
- Øvergård, T. 2017. Ungskogpleie. Standard for Hedmark og Oppland. Skogkurs. Biri. 4 s.
- Øyen, B.-H. 2000. Naturlig avgang i gran og furuskog. Rapp. Nor. inst. Skogforsk. 1/00 1-36.
- Øyen, B.-H. 2001. Planteavstandens betydning for bestandsutvikling og lønnsomhet i en vestnorsk granplanting. Rapp. Nor. inst. Skogforsk. 8/01 1-20.
- Øyen, B.-H. 2003. Tynning i granskog på Sørlandet - effekter på tilvekst, dimensjon og økonomi. Rapport fra skogforskningen 2/03: 16 s.
- Øyen, B.-H. & Nilsen, P. 2004. Growth and recruitment after mountain forest selective cutting in irregular spruce forest. A case study in Northern Norway. *Silva Fennica* 38: 383-392.
- Øyen, B.-H. & Tveite, B. 1998. En sammenligning av høydebonitet og produksjonsevne mellom ulike treslag på samme voksested i Vest-Norge. Rapport fra skogforskningen 15/98. 32 s.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.