

VEKST OG UTVIKLING HOS FORYNGELSE ETTER SELEKTIVE HOGSTER

GROWTH AND DEVELOPMENT OF REGENERATION AFTER SELECTIVE CUTTINGS

ANNE AULIE

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2013



Forord

Feltarbeidet til denne mastergradsoppgaven er gjennomført med økonomisk støtte fra NordGen Skog. Jeg er svært takknemlig for å ha fått innvilget dette reisestipendet.

Jeg vil takke mine veiledere, Kjersti Holt Hanssen og Line Nybakken for god veiledning gjennom arbeidet med denne oppgaven. Kjersti fortjener en ekstra takk for å ha kommet med ideen til oppgaven, og for å ha gitt meg tilgang til et stort datamateriale som har blitt samlet inn på disse forsøksfeltene før 2012. Line fortjener også en ekstra takk for å ha stilt opp som veileder mens hun hadde barselpermisjon.

Jeg vil også takke familien min for all støtte i forbindelse med masteroppgaven, og studietida for øvrig.

Jeg er glad for at jeg fikk muligheten til å jobbe med nettopp dette temaet. Feltarbeidet var interessant og utfordrende, og bød på en kjærkommen mulighet til å bli bedre kjent i eget hjemfylke.

Ås, 13/5-2013

Anne Aulie

Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg vekst og utvikling hos kulturforryngelse av gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*) etter selektive hogster. Datamaterialet stammer fra tre forsøksfelter i Hedmark fylke, to grandominerte og ett furudominert. Plantene ble fulgt opp over åtte år fra utplantning. Tre forskjellige hogstalternativer ble undersøkt, lukkede hogster med to ulike intensiteter (40 eller 60 % volumuttak), og gruppehogster med areal 500 m². Lys- og konkurranseforholdene i de lukkede hogstene ble undersøkt ved hjelp av hemisfærefotografier og enkle konkurranseindekser. Plantenes vitalitet ble bedømt på flere måter, gjennom tilvekst og morfologiske trekk som relativ toppskuddlengde, apikal dominans, og en telling av årsskudd.

Gjennom hele perioden hadde furu større mortalitet enn gran, etter åtte år hadde totalt 61 % av furuplantene og 12 % av granplantene dødd. Nesten samtlige levende furuplanter på de grandominerte forsøksfeltene hadde blitt beitet. Trolig kan mortaliteten hos furu knyttes til beitetrykket.

De to lukkede hogstalternativene ga ikke vesentlig forskjellige lys- eller konkurranseforhold, og forryngelsens overlevelse, tilvekst og vitalitet var heller ikke forskjellig i de to alternativene. De fleste plantene i de lukkede hogstene var undertrykte, mens forryngelsen i gruppehogstene hadde vesentlig større tilvekst og var mer vital.

Lystilgangen hadde sterkt signifikant innvirkning på plantenes høyde og rothalsdiameter, med korrelasjon i størrelsesordenen 10-30 %. Konkurranseindeksene hadde dårligere forklaringsevne for variasjonen i høyde og rothalsdiameter.

På det forsøksfeltet hvor det var mulig å sammenligne gran og furu (det furudominerte forsøksfeltet) hadde artene ikke ulik høyde etter åtte år, men gran hadde større rothalsdiameter enn furu.

Abstract

The aim of this master's thesis was to describe growth and development of planted regeneration of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) after selective cuttings. The study was performed at three study sites in Hedmark County, two of the sites were spruce dominated and the third site was pine dominated. The plants were followed over eight years after planting. Three different harvesting alternatives was examined, group harvesting (500 m²), and single tree selection harvesting of two different intensities (40 % or 60 % of standing volume removed). Light- and competition regime was examined by hemispherical photography and simple competition indices. The plants' vitality was assessed by means of growth and morphological features such as relative leader length, apical dominance ratio, and a counting of branches.

Pine had significantly greater mortality than spruce. Eight years after planting, 61 % of the pine plants and 12 % of the spruce plants had died. Almost all the living pine plants on the spruce dominated sites had been damaged by browsing, and the high mortality rate of pine is probably a consequence of browsing.

The two different harvesting intensities in the single tree selection alternatives did not lead to significantly different light- or competition regime. The two alternatives did not seem to have different effects on the regeneration, in terms of survival, growth or vitality. Most of the plants in the single tree selection alternatives were suppressed, while the plants in the group harvesting alternatives were more vital and had higher growth rates.

Light regime had a significant effect on height and root collar diameter of the plants, the correlation coefficients were in the magnitude of 10-30 %. Competition indices were not as good predictor variables as light regime.

On the pine dominated research site (the only site where comparison of pine and spruce was possible) pine and spruce regeneration did not have significantly different height, but spruce did have significantly greater root collar diameter than pine.

Innhold

1 Innledning	6
1.1 Selektive hogster og konkurranse	6
1.2 Kontus-prosjektet	7
1.3 Skyggetoleranse	8
1.4 Målsetting	10
2 Materialer og metoder	10
2.1 Studieområdene og hogstene	10
2.2 Eksperimentell design	13
2.3 Registreringer på alle plantene	14
2.4 Registreringer på prøveplantene	15
2.5 Lysmålinger	16
2.6 Dataanalyse	17
3 Resultater	19
3.1 Mortalitet i behandling H og L	19
3.2 Tilstand og skader	20
3.3 Lysforhold og konkurranseindekser i behandlingsalternativene H og L	23
3.4 Vekst og vitalitet sett i forhold til skogbehandling	26
3.5 Vekst og vitalitet sett i forhold til lystilgang og konkurransesituasjon	30
4 Diskusjon	32
4.1 Overlevelse	32
4.2 Tilstand og skader	33
4.3 Vekst og vitalitet	34
5 Konklusjoner	42

1 Innledning

1.1 Selektive hogster og konkurranse

Selektive hogster er lukkede hogster som har til hensikt å bevare eller utvikle en sjiktet skogstruktur. Behandlingsenheten er enkelttrær eller små grupper av trær, hvilke trær som skal hogges velges ut etter definerte kriterier. Begrepet kan altså omfatte mange ulike hogstformer. Selektive hogster skaper varierte skogstrukturer med åpninger av vekslende størrelse (avhengig av utvalgsmetode og skogstruktur før hogst), noe som betyr at foryngelsen vil oppleve varierte lys- og konkurranseforhold.

Ved selektive hogster vil foryngelsens oppvekstmiljø preges av konkurranse fra de gjestående trærne. Denne konkurransen er både over- og underjordisk; det vil si at foryngelsen opplever redusert lystilgang på grunn av skygge fra de store trærne, samtidig som plantene opplever rotkonkurranse om vann og næringsstoffer. Hvis konkurransen er svært sterk kan dette hindre etablering av foryngelse (Diaci & Firm 2011; Erefur et al. 2008; Mason et al. 2004), slik at innveksten av nye trær over tid ikke blir tilstrekkelig til å oppnå eller opprettholde en likevektstilstand med tanke på diameterfordeling (Sterba 2004). På den andre siden er det slik at maksimal volumproduksjon inntreffer i lukkede bestand (Long et al. 2004), og ut i fra et ønske om å utnytte skogens produksjonsevne vil det derfor være ønskelig å holde bestokningen på et høyt nivå. En stor utfordring ved selektive hogster er dermed å finne et stående volum som gir en fornuftig balansegang mellom å utnytte skogens produksjonsevne og å legge til rette for at foryngelse kan etablere seg. Foryngelsen trenger på ingen måte å være like tett som i bestandsskogbruket. Hvor stor innvekst (hvor mange nye planter som må overstige brysthøyde hvert år) som kreves for å oppnå eller opprettholde en likevektstilstand i skogen vil avhenge av formen på diameterfordelingen (Lundqvist et al. 2009; Sterba 2004).

Konkurranse fra skjermtrær reduserer tilveksten hos foryngelse. Jo større grunnflate eller stående volum skjermtrærne har, jo mindre blir foryngelsens tilvekst (Lin et al. 2012; Stancioiu & O'Hara 2006). I følge Lundqvist et al. (2009) er det for eksempel ikke uvanlig at granforyngelse i bledningssystemer kan bruke 40-60 år på å nå brysthøyde, altså at årlig høydetilvekst hos foryngelse fram til brysthøyde nås er 2-4 cm/år. At foryngelsen vokser sakte i sjiktet skog trenger ikke bety at produksjonsevnen utnyttes dårlig, ettersom det hovedsakelig er de store trærne som står for volumproduksjonen, men hvis foryngelsens tilvekst blir svært dårlig vil dette medføre økt sjanse for mortalitet (Kobe & Coates 1997).

Å vokse opp i skyggen av større trær kan også innebære fordeler, for eksempel vil foryngelse under skjerm vil vanligvis ha liten forekomst av gransnutebilleskader, sammenlignet med foryngelse på hogstflater (Nordlander et al. 2003; Örlander & Karlsson 2000). Risikoen for frostskaider på foryngelsen reduseres under skjerm (Erefur et al. 2008; Holg n & H nell 2000; Langvall & Ottosson Löfvenius 2002;  rlander & Karlsson 2000), og skjermtrærne kan også bidra til å redusere eventuelle problemer med konkurrerende gras- og urtevegetasjon (for eksempel diskutert av Lieffers et al. (1999) og Balandier et al. (2006)).

Praktisering av selektive hogster er ofte, men ikke alltid, kombinert med et ønske om å oppnå naturlig foryngelse. I følge naturkulturprinsippet skal det for eksempel suppleringsplantes etter selektive hogster (Hagner 2012). I forskningsøyemed er det ganske vanlig å benytte plantede planter n r foryngelse under skjerm skal studeres, blant annet fordi plantede planter gjør det mulig å få en jevnt fordelt foryngelse med ønsket artssammensetning (gj rt av for eksempel Erefur et al. (2011), Coates og Burton (1999); Machado et al. (2003); Mason et al. (2004)).

1.2 Kontus-prosjektet

Både europeiske og amerikanske kilder rapporterer om en økt interesse for selektive hogster fra og med 1990-tallet (Coates & Burton 1999; Erefur et al. 2008; Lieffers et al. 1999; Lin et al. 2012; Mason et al. 2004; Wright et al. 1998). Også i Norge økte interessen for selektive hogster på denne tiden, samtidig som kunnskapen om temaet var noe begrenset (Glommen Skogeierforening & Mjøsen Skogeierforening 2005). Dette var bakgrunnen for Kontus-prosjektet, som ble gjennomført i Hedmark og Oppland i perioden 2003-2005. Kontus-prosjektet var inspirert av naturkulturprinsippet (Glommen Skogeierforening & Mjøsen Skogeierforening 2005). Naturkultur er et økonomisk prinsipp som kan føre til selektive hogster, og innebærer at trær som har lite potensiale til å øke sin verdi avvirkes. Det vil si at store trær, som allerede har oppnådd verdifulle dimensjoner, lite vitale trær og trær som hindrer veksten til mer verdifulle trær avvirkes (Hagner 2012).

Kontusprosjektet studerte mange forhold ved selektive hogster, deriblant driftsteknikk, økonomiske forhold, og effekter i forhold til vilt og utmark. To spesielle forhold bidro til ønsket om økt kunnskap om temaet, for det første Levende-skogsertifiseringens kravpunkt 11 om at selektive hogster skal benyttes i granskog der forholdene ligger til rette for det økonomisk og biologisk (Rådet for Levende skog 2006), og for det andre at det i Nord-Østerdal og Nord-Gudbrandsdal er etablert en ukonvensjonell praksis med å gjennomføre selektive hogster i furuskog (Glommen Skogeierforening & Mjøsen Skogeierforening 2005).

Hogstene som ble gjennomført i forbindelse med prosjektet ble utført i både gran- og furuskog, og skogbestandene som ble valgt ut var ansett som egnede for selektive hogster (Glommen Skogeierforening & Mjøsen Skogeierforening 2005).

Norsk institutt for skog og landskap, den gang Skogforsk, samarbeidet med Kontus-prosjektet for å se på effektene av selektive hogster på foryngelsen. Dette skjedde blant annet gjennom Skog og landskaps strategiske instituttprogram «Foryngelse for et bærekraftig skogbruk» (2003-2006).

1.3 Skyggetoleranse

En sjiktet skogstruktur innebærer at foryngelsen må etablere seg i skygge. Derfor hevder for eksempel Lundqvist et al. (2009) at furu (*Pinus sylvestris*), som er en lite skyggetolerant art, vil være uegnet til bledningsskogbruk, mens gran (*Picea abies*) vil være velegnet for bledningsskogbruk, fordi gran som det eneste av de kommersielt viktige skandinaviske treslagene er skyggetolerant. Hagner (2012) mener derimot at furu fint kan danne sjiktede bestand, og at selektive hogster etter naturkulturprinsippet kan fungere bra i furuskog. En vanlig antagelse er at selektive hogster over tid vil endre artsdynamikken slik at skyggetolerante arter overtar for mindre skyggetolerante arter, noe både Diaci og Firm (2011) og Mason et al. (2004) har funnet belegg for.

Skyggetoleranse defineres ofte som evnen til å overleve ved begrenset lystilgang (Valladares & Niinemets 2008). Diaci og Firm (2011) fant i sin studie at gran i svært liten grad klarte å overleve når lystilgangen var lavere enn 6 % diffust lys. Mason et al. (2004) fant at furu hadde betydelig redusert overlevelse ved 16 % lystilgang, og ingen overlevelse ved 5 % lystilgang. Gaudio et al. (2011) fant at furu kunne overleve ved lystilgang under 10 % (diffust lys), men at tilveksten da var veldig liten, og at plantene bare kunne nå en svært begrenset høyde.

Det er lite hensiktsmessig å forsøke å oppgi et bestemt prosenttall for hvor mye lys som kreves for at ulike arter skal kunne overleve, da det er vist at mange forhold kan påvirke skyggetoleranse hos planter. Skyggetolerante arter vil generelt få økt behov for lys etter hvert som plantene blir større, ettersom den relative andelen av fotosyntetiske plantedeler reduseres med økende plantestørrelse (Diaci & Firm 2011; Gaudio et al. 2011; Kneeshaw et al. 2005; Lieffers et al. 1999; Messier et al. 1999; Valladares & Niinemets 2008). Wright et al. (1998) viste at planter som vokste i ulike klimasoner fikk ulik evne til skyggetoleranse, og Kobe og Coates (1997) mener å ha funnet belegg for at vanntilgangen kan påvirke skyggetoleransen. Det har vært diskutert om næringstilgang kan påvirke skyggetoleranse (Coomes & Grubb

2000; Machado et al. 2003). Machado et al. (2003) fant at næringstilgangen ikke påvirket planters evne til å overleve ved begrenset lystilgang, men at tilveksten derimot ble påvirket.

Generelt vil skyggetolerante arter ta opp en større del av lyset enn hva skyggeintolerante arter gjør, slik at mer lys når ned til bakken under kronene til skyggeintolerante arter (Coomes & Grubb 2000; Lieffers et al. 1999; Valladares & Niinemets 2008). Samtidig hevder Valladares og Niinemets (2008) at skyggetolerante arter bare kan opptre der vann- og næringstilgang er god, mens skyggeintolerante arter i større grad klarer å overleve i tørre miljøer. Bladarealet i et skogbestand reflekterer ressurstilgangen i form av vann og næringsstoffer (Long et al. 2004), det vil altså generelt være slik at en større andel av lyset slipper gjennom kronesjiktet og ned til bakken i tørre miljøer enn i fuktige miljøer (Lieffers et al. 1999). Lystilgangen er dermed den begrensende faktor for overlevelse og tilvekst i skogøkosystemer hvor vann- og næringstilgang er god, mens rotkonkurransen er den begrensende faktor i skogøkosystemer hvor vann- og næringstilgang er dårlig (Coomes & Grubb 2000; Ricard et al. 2003).

Skyggetolerante og skyggeintolerante arter har ulike vekststrategier (Valladares & Niinemets 2008). Skyggeintolerante arter har vanligvis evne til å vokse raskt hvis lystilgangen er stor, mens de ikke har evne til å overleve ved svært liten lystilgang. Skyggetolerante arter har stor evne til å overleve når lystilgangen er liten, men de har vanligvis ikke evne til å vokse like fort som de skyggeintolerante artene når lystilgangen er stor (Valladares & Niinemets 2008). Kobe og Coates (1997) og Kneeshaw et al. (2005) viste at skyggetolerante arter i større grad enn skyggeintolerante arter var i stand til å overleve som undertrykte (altså med svært liten tilvekst) over lang tid. Disse to studiene viste tydelig at det var de mest undertrykte plantene som hadde størst risiko for å dø. Hvor lav tilveksten kunne bli før plantene begynte å dø av undertrykkelse varierte i disse studiene fra art til art, og ut i fra plantestørrelse.

Generelt har skyggetolerante arter større morfologisk plastisitet enn skyggeintolerante arter, noe som gjør at skyggetolerante arter kan maksimere lysopptaket gjennom å modifisere kronemorfologien (Messier et al. 1999; Valladares & Niinemets 2008). Claveau et al. (2002) fant for eksempel at gran- og edelgranarter i langt større grad enn furuarter responderte på redusert lystilgang med å endre kronefasong. Granplanter som vokser i skygge utvikler en såkalt «paraplyformet krone», som skiller seg vesentlig fra kronefasongen til granplanter som vokser i fullt lys, derfor har enkelte forfattere brukt apikal dominans (forholdet mellom toppskuddlengde og lengde på lengste sidegrein i øverste greinkrans) som en vitalitetsindikator for gran- og edelgranarter (Claveau et al. 2002; Grassi & Giannini 2005).

Grassi og Giannini (2005) fant at apikal dominans hos granplanter hadde en nær sammenheng med lystilgang, og mente derfor at dette var en god indikator på vitalitet. Furuarter vil generelt ha større apikal dominans enn granarter under skyggefulle vokseforhold, da furuarter ikke utvikler «paraplyform» i skyggen, men heller prioriterer høydevekst (Messier et al. 1999).

Bartrearter tilpasser seg redusert lystilgang med å redusere antall sidegrener (Messier et al. 1999). Derfor har for eksempel Claveau et al. (2002) brukt antall sidegrener i øverste grenkrans som en vitalitetsindikator hos bartreforyngelse. Hagner (2012) mener at både foryngelsens vitalitet og framtidige virkeskvalitet kan overvåkes ut i fra en telling av antall årsskudd, et såkalt «frihetstall» (metoden er forklart nærmere i avsnitt 2.4), tanken er da at svært lave «frihetstall» indikerer at plantene er lite vitale, mens svært høye «frihetstall» indikerer at framtidig virkeskvalitet blir dårlig på grunn av sterk kvistsetting.

1.4 Målsetting

Målsettingen for denne masteroppgaven var å undersøke hvordan kulturforyngelse av gran og furu utviklet seg etter selektive hogster. Jeg ønsket å undersøke hvilken effekt hogstene hadde på lys- og konkurranseforhold på forsøksfeltene, og hva slags effekt lys- og konkurranseforhold har hatt på foryngelsens tilvekst og vitalitet.

2 Materialer og metoder

2.1 Studieområdene og hogstene

Studien ble utført på tre forskjellige steder i Hedmark fylke (figur 1), Nord-Odal (60° 31' N, 11° 28' E), Romedal (60° 39' N, 11° 35' E) og Tolga (62° 23' N, 10° 57' E). Forsøksfeltene ble etablert i 2003 av Skog og landskap og Kontus-prosjektet. Kontus-prosjektet gjennomførte hogstene, mens Skog og landskap hadde ansvaret for studier av natur- og kulturforyngelse. Feltene i Nord-Odal og Romedal er grandominerte, og vegetasjonstypen på begge disse feltene er blåbærskog, mens forsøksfeltet på Tolga er furudominert, med vegetasjonstype bærlyngskog. Alle feltene har liten forekomst av andre treslag enn hovedtreslaget, og alle hadde en sjiktet struktur også før hogst. Felldata for disse forsøksfeltene er hentet fra de Chantal et al. (2007) og Hanssen (2007), og er presentert i tabell 1.

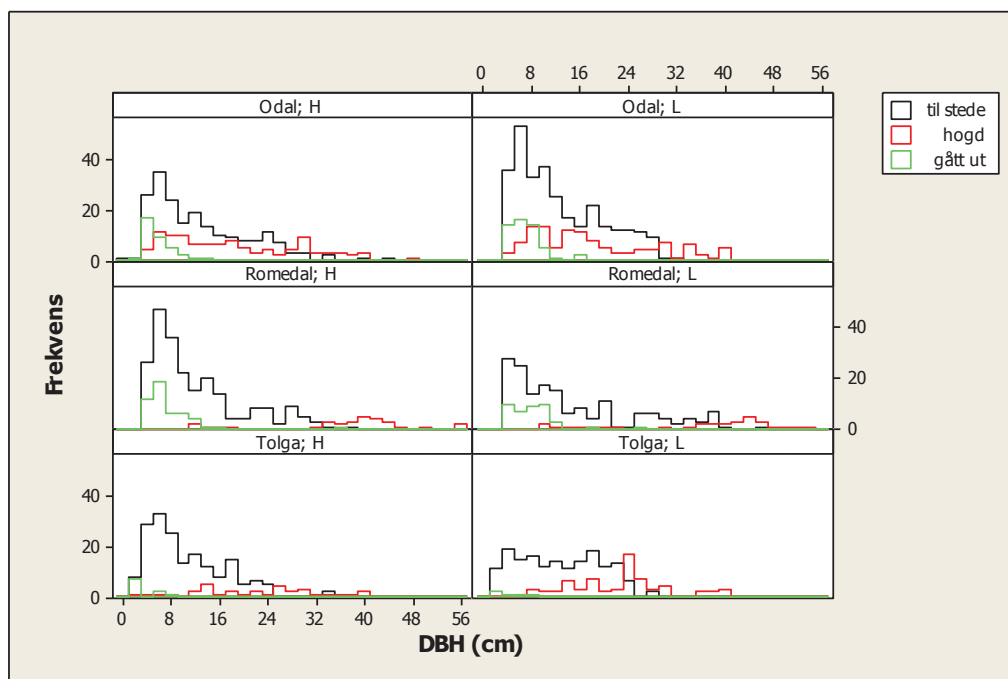


Figur 1: Kart over Hedmark med de tre forsøksfeltenes plassering

Tabell 1: Felldata, hentet fra de Chantal et al. (2007). Boniteten er hentet fra Hanssen (2007). Årlig nedbør og gjennomsnittstemperatur gjennom året gjelder perioden 1961-1990.

Felt	H.o.h	Bonitet	Jordart	Tekstur	Årlig nedbør (mm)	Gjennomsnitts temperatur (°C)
Nord-Odal	450	G14	Podsøl, innslag av torv	sandig leirjord	755	3,6
Romedal	540	G12	Podsøl	siltig leirjord	755	3,6
Tolga	520	F11	Podsøl	sandig leirjord	470	0,1

På alle de tre forsøksfeltene ble det gjennomført selektive hogster vinteren 2003/2004. På hvert forsøksfelt ble det gjennomført selektive hogster av to ulike intensiteter; behandling H (høyt uttak) med tilsiktet uttak ca. 60 % av stående volum og behandling L (lavt uttak) med tilsiktet volumuttak på ca. 40 % (tabell 2). De største trærne ble avvirket i de lukkede hogstene, men også en del mindre trær ble tatt ut, spesielt i Nord-Odal (figur 2).



Figur 2: Diameterfordeling etter hogst på prøveflatene, samt diameterfordelingen i hogstuttaket og avgang i forbindelse med hogst.

Tabell 2 viser bestandsdata hentet fra Hanssen (2007). I tillegg til hogstbehandlingene H og L ble det på hvert forsøksfelt utført to gruppehogster med areal ca 500 m², tilsvarende en diameter på 25 m (figur 3 og 4). Det har ikke blitt gjennomført hogster på noen av forsøksfeltene etter 2003/2004, men enkelte trær har blitt vindfelt. Feltene i Nord-Odal og Romedal befinner seg innenfor et område hvor det går kyr og sauer på utmarksbeite.

Tabell 2: Bestandsdata for forsøksfeltene, hentet fra Hanssen (2007).

Felt	Treantall før hogst (≥ 5 cm dbh)	Stående volum før hogst (m ³ /ha)	Behandling	Treantall etter hogst (≥ 5 cm DBH)	Stående volum etter hogst (m ³ / ha)
Nord-Odal	1400	305	H	740	120
			L	1060	165
Romedal	1100	295	H	670	115
			L	930	150
Tolga	950	180	H	670	75
			L	720	95



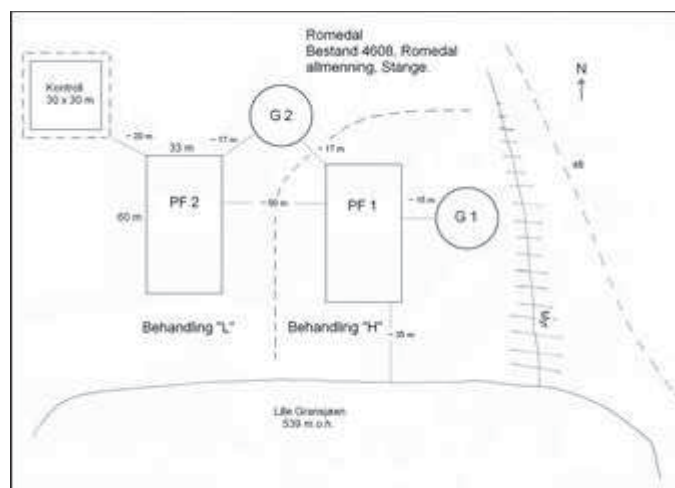
Figur 3: Eksempler på skogbildet i furuskog, fra forsøksfeltet på Tolga. Til venstre sees en av de to gruppehogstene, til høyre et bilde av prøveflata i behandlingsalternativ H. Bildene er tatt i 2012.



Figur 4: Eksempler på skogbildet på forsøksfeltene i granskog. Bildet til venstre viser en av gruppehogstene i Nord-Odal, mens bildet til høyre viser prøveflata i behandlingsalternativ H i Romedal. Bildene er tatt i 2012.

2.2 Eksperimentell design

Det ble anlagt to prøveflater på hvert forsøksfelt, en for hvert av behandlingsalternativene H og L. Disse prøveflatene er rektangulære med et areal på 2,0 da hver. Lengde* bredde er 60 m*33 m, med unntak av prøveflata i behandling L på Tolga, som er 50 m*40 m. Et eksempel på utforming av forsøksfeltene er vist i figur 5. I 2003, før hogst, ble alle trær som var høyere enn 3 m og befant seg innenfor prøveflatene klavet og koordinatfestet. I 2004 ble hogstuttak og naturlig avgang på prøveflatene registrert.



Figur 5: Utforming av forsøksfeltet i Romedal

Våren 2004 ble alle prøveflatene og de to gruppehogstene på hvert forsøksfelt tilplantet med pluggplanter av gran og furu (ettårige furuplanter og toårige granplanter). Prøveflatene ble tilplantet med 120 planter av hver art på hver prøveflate, noe som betyr at det totalt ble plantet ut 240 planter/ prøveflate. Plantene ble plantet ut radvis, i 24 rekker med 10 planter i hver. På grunn av den avvikende formen på prøveflate L på Tolga ble plantene der plantet ut i 20 rader med 12 planter i hver. Avstanden mellom hver plante innad i raden var ca. 2,5 m. Avstanden mellom radene var vekselvis 1,5 m og 3,5 m, slik at avstanden mellom første fururad og første granrad var 1,5 m, mens avstanden fra første granrad til andre fururad var 3,5 m. Videre var avstanden mellom andre fururad og andre granrad 1,5 m, mens avstanden fra andre granrad til tredje fururad var 3,5 m og så videre. Tilsvarende planteavstand og utplantingsmønster ble benyttet i gruppehogstene. Alle plantene ble merket med bambuspinner.

Det systematiske utplantingsmønsteret som ble brukt på disse prøveflatene avviker fra det som normalt ville ha blitt gjort ved suppleringsplanting etter selektive hogster. Ved vanlig suppleringsplantene ville kun åpninger av en viss størrelse (uten tilstrekkelig naturlig foryngelse) blitt tilplantet. Utplantingen ble gjort på denne måten for å kunne undersøke variasjonen i vokseforhold på disse prøveflatene.

2.3 Registreringer på alle plantene

Etter planting våren 2004 har forsøksfeltene blitt fulgt opp tre ganger; høsten 2004, sommeren 2007 og sommeren 2012. Ved disse tre anledningene ble tilstanden til alle plantene på prøveflatene registrert, klassifikasjonen som ble brukt i 2012 er vist i tabell 3. Hvis nødvendig ble flere tilstandskoder brukt samtidig, for eksempel vil kode 5 (dødt toppskudd) ofte opptre i kombinasjon med kode 4 (sidegren har tatt over som toppskudd). Det er ikke gjort

tilstandsregistreringer av plantene som er plantet ut i gruppehogstene, med unntak av prøveplantene.

Tabell 3: Tilstandskoder brukt ved registreringen i 2012

Tilstandskoder 2012
1=OK
2a=gammel beiteskade (beitet toppskudd)
2b = beitet toppskudd 2011/2012
2c = beiteskader på sidegrener
3 = hengende toppskudd
4 = sidegren har overtatt som toppskudd
5 = dødt toppskudd
6a = dobbelttopp/flere toppskudd 2012
6b = flere stammer
6c = eldre dobbelttopp som ikke har ført til flere stammer
7 = misfarget toppskudd eller annen toppskuddskade
8 = gule eller brune nåler, andre større nåleskader
9a = undertrykt/svekket
9b = kraftig undertrykt
10 = død

Svært mange furuplanter på forsøksfeltene i Nord-Odal og Romedal var såpass kraftig beitet at det var meningsløst å forsøke å vurdere hvorvidt plantene var undertrykte eller ei.

2.4 Registreringer på prøveplantene

For å kunne se nærmere på plantenes vekst og utvikling ble det i 2007 og 2012 gjennomført mer omfattende registreringer på et utvalg av plantene, heretter kalt prøveplanter. Disse plantene ble valgt ut tilfeldig blant de plantene som var forholdsvis skadefrie, og ikke var beitet i 2007. I utgangspunktet var det meningen at 20 planter av hver art skulle velges ut per prøveflate og 10 av hver art per gruppehogst. Imidlertid var det ikke mulig å finne såpass mange uskadede furuplanter på forsøksfeltene i Nord-Odal og Romedal i 2007, slik at faktisk størrelse på utvalget har variert noe, antallet er vist i tabell 4. Der det har vært mulig å finne uskadede furuplanter er plantene er valgt ut parvis, slik at man får en plante av hver art fra tilnærmet samme vokseplass, det vil si at hvis plante nr. 5 i første fururad er valgt ut, så er også plante nr. 5 i første granrad valgt ut. Alle prøveplantene er koordinatfestet, og det samme utvalget ble benyttet ved registreringene i 2012.

Tabell 4: Antall prøveplanter per felt. Første bokstav viser til forsøksfelt, N = Nord-Odal, R = Romedal og T = Tolga. Andre bokstav viser til skogbehandling, H eller L, G1 og G2 viser til gruppehogst 1 eller gruppehogst 2.

	N-H	N-L	N-G1	N-G2	R-H	R-L	R-G1	R-G2	T-H	T-L	T-G1	T-G2
Furu	7	9	0	0	19	18	2	1	20	20	10	10
Gran	20	20	9	10	22	21	11	10	20	20	10	10

Følgende registreringer ble gjort på disse prøveplantene: måling av høyde, rothalsdiameter, toppskuddlengde og lengde av lengste sidegren i øverste grenkrans. Ettersom målingene i 2012 ble utført i vekstsesongen, før toppskuddet fra 2012 var ferdig utvokst, ble plantenes høyde målt til og med toppskuddet fra 2011, og målinger av toppskudd ble utført på toppskuddet fra 2011. På samme måte er grenkransen fra 2011 definert som øverste grenkrans.

På prøveplantene ble det også gjennomført en telling av årsskudd, som tilsvarer Hagners «frihetstall» (Hagner 2012). For gran er det toppskuddet, antall grener i øverste grenkrans og antall internodiegrener ned til nest øverste grenkrans som telles med. For furu telles toppskuddet, antall grener i øverste grenkrans og antall årsskudd i nest øverste grenkrans med.

2.5 Lysmålinger

For hvert av de 20 prøveplanteparene på hver prøveflate ble det i 2007 tatt ett hemisfærefotografi for å anslå lystilgangen for disse plantene. Bildene ble tatt med et Nikon 4500 Coolpix kamera med en 180° linse (”fisheye”) montert vannrett på et stativ 1,3 m over bakken. Ut i fra disse bildene ble lystilgangen beregnet i programmet HemiView (Delta T-devices, Burwell, Cambridge, UK). I 2004 ble det tatt hemisfærefotografier i gruppehogstene, disse ble tatt på fem punkter i hver gruppehogst, ett fotografi i sentrum, og fire fotografier 10 m fra sentrum, ett i hver himmelretning.

Hemisfærefotografier brukes til å beregne lystilgang ut i fra en antakelse om at lysmengde er en funksjon av andelen synlig himmel på fotografiet (Rich 1990). Det vil si at et hemisfærefotografi som kun viser himmel (fotografier tatt ovenfor trekronene vil kun vise himmel), tilsvarer en lystilgang på 100 %. Hvis hemisfærefotografier tas i skog vil sikten til himmelen delvis forhindres av trekronene, og ut i fra andelen synlig himmel kan lystilgangen da beregnes som en relativ andel av lystilgangen over trekronene.

Ved beregning av lystilgang deles lyset inn i diffust og direkte lys. HemiView omtaler direkte lys som DSF (Direct Site Factor), diffust lys som ISF (Internal Site Factor) og totalt lys, som

er summen av diffust lys og direkte lys, omtales som GSF (Global Site Factor). Direkte lys er lys som kommer i form av direkte solstråler, og mengden direkte lys beregnes ved at solas bane over himmelen gjennom et visst tidsrom projiseres over hemisfærefotografiet. Andelen direkte lys (DSF) er da en funksjon av andelen synlig himmel innenfor solas projiserte bane (Rich 1990). Diffust lys er lys som er spredt og reflektert i atmosfæren, altså alt lys som ikke er direkte solstråler. Mengden diffust lys (ISF) er en funksjon av den totale mengden synlig himmel på hemisfærefotografiet. Eventuelle forsterkningseffekter som følge av lysspredning og refleksjon i og under trærnes kronedekke vil vanligvis ikke fanges opp (Lieffers et al. 1999; Rich 1990).

Jeg har kun brukt diffust og totalt lys i dataanalysene, mens direkte lys ikke er brukt. Grunnen til dette er at direkte solinnstråling under trekroner oftest er i form av kortvarige lysglimt, som planter kan ha vanskelig for å nyttiggjøre seg (Lieffers et al. 1999).

2.6 Dataanalyse

Ut i fra målingene på prøveplantene ble relativ toppskuddlengde og apikal dominans regnet ut for hver plante.

$$\text{Relativ toppskuddlengde} = \frac{\text{toppskuddlengde 2011}}{\text{høyde 2011}}$$

$$\text{Apikal dominans} = \frac{\text{toppskuddlengde}}{\text{lengde av lengste sidegren i øverste grenkrans}}$$

For å undersøke konkurranseforholdene på prøveflatene ble det for hver prøveplante beregnet tre enkle konkurranseindekser, heretter kalt KI 1, KI 2 og KI 3. Disse ble valgt ut fordi de baserer seg på enkle inputdata (trærnes koordinater og DBH), og kan beregnes ut i fra data som ble samlet inn i forbindelse med hogstene. På grunn av registreringsmetoden i 2003 er kun konkurrenter som var mer enn 3 m høye i 2003 tatt med i beregningene.

$$\text{KI 1} = \Sigma n$$

$$\text{KI 2} = \Sigma \text{DBH}$$

$$\text{KI 3} = \Sigma \frac{\text{DBH}}{\text{avstand}}$$

KI 1 er antall trær innenfor en gitt radius av prøveplanta, og KI 2 er summen av DBH for alle trærne innenfor en gitt radius av prøveplanta. KI3 beregnes ved at det for hvert enkelt konkurrenttre innenfor den aktuelle radiusen regnes ut et forholdstall mellom konkurrenttreets

DBH og avstand til prøveplanta, og disse forholdstallene summeres så opp. KI 1 og KI 2 er altså distanseuavhengige, mens KI3 er distanseavhengig. Konkurransindeksene er regnet ut for fire forskjellige radier; 3 m, 4 m, 5 m og 7m. I de tilfellene hvor prøveplantene befant seg nærmere kanten av prøveflata enn den aktuelle radiusen, har konkurransindeksene ikke blitt regnet ut.

I analysene av forekomsten av ulike toppskuddskader ble flere tilstandskoder slått sammen til større grupper, og hver plante er talt med i kun en kategori, selv om noen planter har flere ulike skadetyper på en gang. Kategorien «ingen toppskuddskade» er alle planter som ikke er registrert med noen form for toppskuddskade (altså de plantene som ikke er registrert med noen av kodene 2a, 2b, 4, 5, 6a, 6b, 6c eller 7). Kategorien «beitet toppskudd» er alle planter som har fått beitet toppskudd, det vil si tilstandene 2a og 2b. Alle planter som har blitt registrert med tilstandene 2a eller 2b er talt med i denne kategorien, også dersom plantene i tillegg har hatt andre typer skader. Kategorien «sidegr har tatt over» inkluderer alle planter hvor sidegrener har tatt over som toppskudd uten at dette er forårsaket av beiteskader, det vil altså si tilstandskodene 4, 5 og 7 såfremt de samme plantene ikke også er registrert med tilstandene 2a eller 2b. Planter som har blitt registrert med dobbelttopp (kategoriene 6a, 6b eller 6c) i tillegg til tilstandskode 4 er talt med i gruppa «sidegr har tatt over». Kategorien «dobbelttopp» inkluderer alle planter som er registrert med dobbelttopp, altså tilstandene 6a, 6b og 6c, dersom disse tilstandene ikke har opptrådt i kombinasjon med noen av tilstandskodene 2a, 2b eller 4.

I analysene av prøveplantenes årlige tilvekst gjennom perioden, ble plantene gruppert annerledes. I denne grupperingen er alle planter som ikke var døde, beitede eller undertrykte i 2012 plassert i kategorien «1» (det vil si at alle planter som ikke har blitt registrert med noen av kodene 2a, 2b, 2c, 9a, 9b eller 10 er i denne kategorien). Alle beitede planter har blitt satt i kategorien «2» (tilstandene 2a, 2b og 2c ved registrering i 2012). Kategorien «9a» hos gran er alle planter som i 2012 var registrert med tilstandskoden 9a, dersom denne ikke har opptrådt i kombinasjon med beiteskader. Kategorien «9b» hos gran er tilsvarende alle planter som var registrert med tilstandskoden 9b dersom disse ikke også var beitet. For furuplantene ble kategoriene «9a» og «9b» slått sammen til kategorien «9» fordi det var såpass få levende furuplanter i 2012. Alle prøveplantene som var døde i 2012 ble klassifisert som «10».

Statistiske analyser ble utført i Minitab 16. Minitab 16 er brukt til å utarbeide deskriptiv statistikk. I sammenligninger av to grupper ble to utvalgs t-test med ulik varians benyttet. I

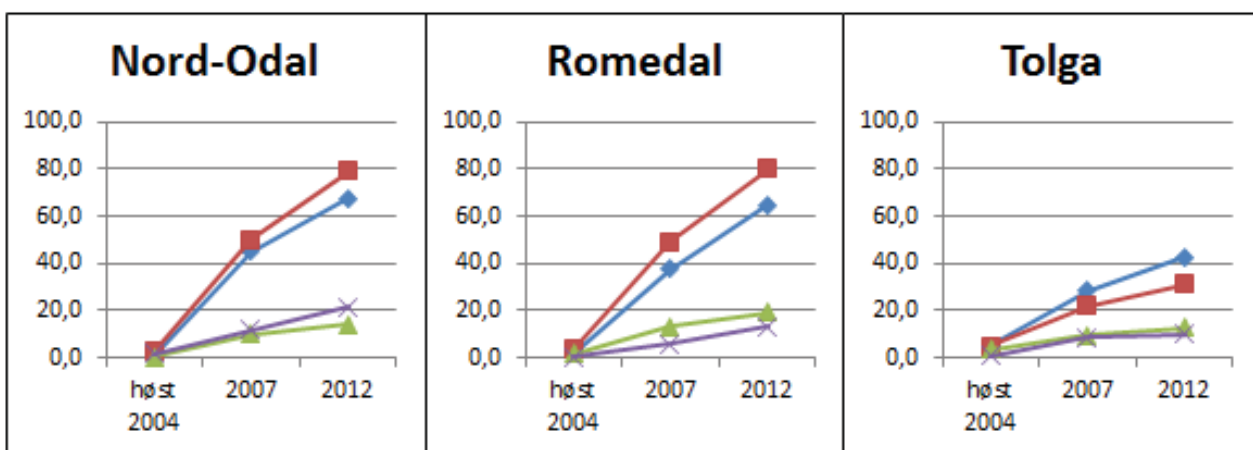
sammenligninger av fler enn to grupper ble enveis ANOVA benyttet, med Tukeys family error rate som sammenligningskriterium og konfidensnivå 95 % ble brukt.

For å undersøke sammenhengen mellom lysmålinger og konkurranseindekser, og i analysene av sammenhengen mellom plantenes vekst og de målte lys- eller konkurranseforholdene ble lineær regresjon benyttet. Alle figurene er tegnet opp i Microsoft Excel 2010, med unntak av scatterplott, som er laget i Minitab 16.

3 Resultater

3.1 Mortalitet i behandling H og L

Hvis alle feltene sees under ett hadde totalt 61 % av furuplantene (438 planter) og 15 % av granplantene (109 planter) dødd ved registrering i 2012. Furu hadde signifikant større mortalitet enn gran sett over hele perioden 2004-2012 ($p = 0,003$), men forskjellen var statistisk signifikant også i periodene 2007-2012 ($p = 0,01$) og høst 2004-2007 ($p = 0,016$). Også når den første vekstsesongen, sommeren 2004, sees isolert var mortaliteten høyere for furu (3 %) enn for gran (1 %), men denne forskjellen var ikke statistisk signifikant på 5 % -nivå ($p = 0,07$).



Figur 6: Prosentvis akkumulert mortalitet på prøveflatene. Alle planter. Rød = furu behandling L, blå = furu behandling H, lilla = gran behandling L, grønn = gran behandling H.

Mortaliteten var lavere på Tolga enn i Nord-Odal og Romedal (figur 6), men forskjellen mellom feltene var ikke statistisk signifikant.

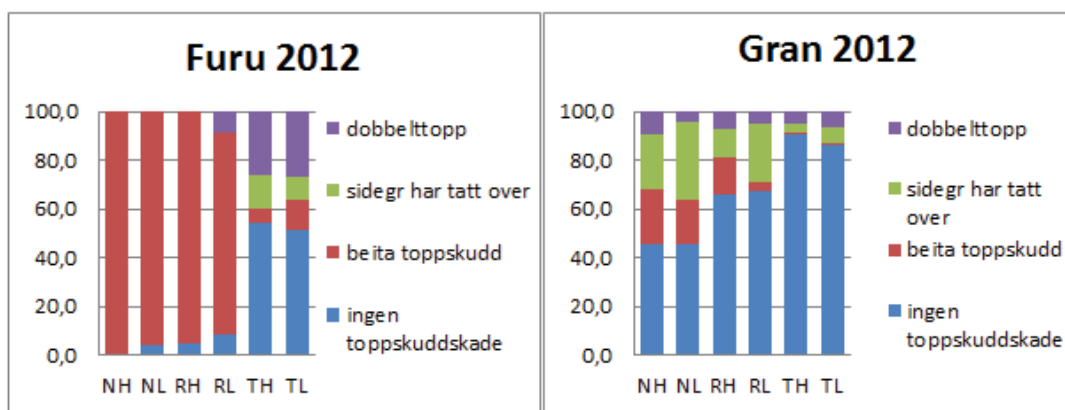
Prøveplantene hadde lavere mortalitet enn plantene for øvrig i perioden 2007-2012, men denne forskjellen er ikke statistisk signifikant. Totalt hadde 28 % av furuprøveplantene (32

planter) og 2 % av granprøveplantene (3 planter) dødd ved registrering i 2012. På samme måte som med plantene for øvrig var mortaliteten hos furuprøveplantene signifikant større enn hos granprøveplantene ($p < 0,001$).

3.2 Tilstand og skader

Av plantene som var i live ved registrering sommeren 2012 var totalt 67 % av granplantene (409 planter) og 30 % av furuplantene (84 planter) uten toppskuddskader. Forskjellen på gran og furu var statistisk signifikant ($p = 0,006$). En stor del av toppskuddskadene på furu skyldtes beiting (figur 7).

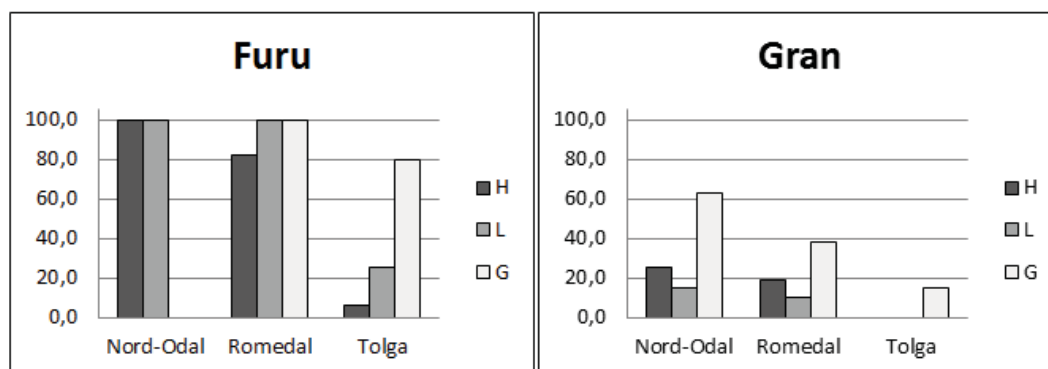
Nesten alle furuplantene i Nord-Odal og Romedal hadde beiteskader i 2012 (figur 7). Hvis alle feltene sees under ett var en signifikant større andel av furuplantene utsatt for beiteskader sammenlignet med gran ($p = 0,03$). Totalt var 50 % (140 planter) av de levende furuplantene og 13 % (77 planter) av de levende granplantene registrert med beiteskader i 2012 (tilstandskodene 2a, 2b og 2c). Hvis prøveplantene sees separat var andelen beiteskader noe større; 57 % av de levende furu-prøveplantene (48 planter) og 21 % av de levende granprøveplantene (37 planter) hadde beiteskader i 2012. Forskjellen på prøveplantene og alle plantene var ikke statistisk signifikant ($p = 0,61$).



Figur 7: Oversikt over toppskuddskader, i prosent av antall levende planter 2012. Alle planter. Grupperingen av plantene er forklart i avsnitt 2.6. Forkortelsene viser forsøksfelt (første bokstav, N = Nord-Odal, R = Romedal og T = Tolga) og skogbehandling (andre bokstav, H eller L)

For prøveplantene var det en tendens til en større andel beitede planter i gruppehogstene enn under skjerm (figur 8). Denne tendensen var imidlertid ikke statistisk signifikant. Hvis alle feltene sees under ett var 82 % av furuprøveplantene i gruppehogstene beitet, mens henholdsvis 56 % og 46 % av furuprøveplantene i behandling L og H var beitet. Av granplantene var 38 % av prøveplantene i gruppehogstene beitet, mens henholdsvis 8 % og 15 % av granprøveplantene i behandling L og H var beitet. Samtlige prøveplanter av furu i Nord-

Odal, og i behandlingene L og G i Romedal hadde beiteskader i 2012. Ingen av granprøveplantene i behandling H og L på Tolga hadde beiteskader (figur 8).



Figur 8: Andelen prøveplanter registrert med beiteskader, i prosent av antall levende prøveplanter 2012. På gruppehogstene i Nord-Odal er antall prøveplanter av furu 0. I behandlingsalternativene H og L på Tolga er forekomsten av beiteskader 0 %.

Av granplantene (alle planter) som var i live ved registreringen i 2012 hadde 5 % (29 planter) dobbelttopp i 2011 (tilstand 6a), mens 7 % (44 planter) hadde hatt dobbelttopp et tidligere år (tilstandene 6a og 6b). Av granplantene som tidligere hadde hatt dobbelttopp hadde 66 % fortsatt flere likeverdige stammer i 2012, mens 34 % av plantene med tidligere dobbelttopp bare hadde en dominerende stamme i 2012. Tilsvarende hadde 16 % (46 planter) av de levende furuplantene dobbelttopp i 2011, mens 15 % (42 planter) av furuplantene hadde hatt dobbelttopp tidligere år. Av furuplantene som hadde hatt dobbelttopp tidligere år, hadde 48 % flere likeverdige stammer i 2012, mens de resterende 52 % bare hadde en dominerende stamme i 2012.

Feltet på Tolga skilte seg ut med en stor andel granplanter med gult bar (tilstand 8). 21 % av granplantene (45 planter) på Tolga ble registrert med tilstand 8 i 2012. Dette var en vesentlig høyere andel enn i Nord-Odal og Romedal, hvor henholdsvis 2 % og 1 % av granplantene var registrert med tilstand 8. Andelen furuplanter med tilstand 8 på Tolga var 3 %, altså langt lavere enn andelen av granplantene.

Totalt ble 33 % av furuplantene (93 planter) og 77 % av granplantene (471 planter) registrert som undertrykte i 2012. Ingen av feltene skilte seg ut med tanke på andelen undertrykte granplanter, og det var heller ingen statistisk signifikant forskjell på behandlingsalternativene H og L. 36 % (169 planter) av de undertrykte granplantene og 18 % av de undertrykte furuplantene (17 planter) var registrert som svært undertrykte (tilstand 9b) i 2012.

Granplantene som var undertrykte i 2012 (kategoriene «9a» og «9b») hadde hatt signifikant lavere årlig tilvekst enn både de beitede plantene (kategori «2») og de plantene som ikke var undertrykte (kategori «1»), dette gjaldt i begge periodene (tabell 5). Det var ikke statistisk signifikant forskjell på årlig tilvekst hos de beitede granplantene og plantene i kategori «1» i noen av periodene.

Tabell 5: Gjennomsnitt ($\pm$ standardfeil) for årlig vekst, antall skudd, apikal dominans og de målte verdiene av diffust lys og KI 2 med radius 4 m. Plantene er gruppert ut i fra registrert tilstand i 2012, etter en metode forklart i avsnitt 2.6. Gjennomsnittsverdier med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå. Hver rute av tabellen viser resultatet av en ANOVA-analyse, og bokstavmerkingen gjelder kun verdier innenfor samme rute (gran og furu er altså ikke sammenlignet direkte).

	antall planter	årlig vekst 2004-2007 (cm)	årlig vekst 2007-2011 (cm)	antall skudd (2011)	apikal dominans (2011)	ISF	KI 2 r< 40 dm
gran							
"1"	54	9,9 ($\pm$ 0,5) A	24,0 ($\pm$ 1,4) A	11,5 ($\pm$ 0,7) A	1,5 ($\pm$ 0,1) A	0,47 ($\pm$ 0,02) A	48,0 ($\pm$ 9,7) B
"2"	36	9,5 ($\pm$ 0,7) A	20,3 ($\pm$ 1,6) A	8,6 ($\pm$ 0,8) B	1,4 ($\pm$ 0,1) A	0,39 ($\pm$ 0,04) AB	53,3 ($\pm$ 9,0) B
"9a"	66	5,7 ($\pm$ 0,3) B	9,9 ($\pm$ 0,4) B	5,2 ($\pm$ 0,3) C	0,9 ($\pm$ 0,0) B	0,37 ($\pm$ 0,02) BC	54,7 ($\pm$ 6,8) B
"9b"	24	4,1 ($\pm$ 0,3) B	5,3 ($\pm$ 0,4) C	2,6 ($\pm$ 0,2) D	0,7 ($\pm$ 0,1) B	0,28 ($\pm$ 0,02) C	99,8 ($\pm$ 10,0) A
"10"	3	3,5 ($\pm$ 0,5) B	-	-	-	0,38 ($\pm$ 0,09) ABC	89,0 ($\pm$ 27,1) AB
		F = 27,65 p < 0,001	F = 57,32 p < 0,001	F = 40,61 p < 0,001	F=24,18 p<0,001	F = 7,77 p < 0,001	F = 5,16 p = 0,001
furu							
"1"	19	9,7 ($\pm$ 0,4) AB	22 ($\pm$ 1,7) A	9,3 ($\pm$ 1,0) A	1,8 ($\pm$ 0,2) A	0,51 ($\pm$ 0,02) A	52,0 ($\pm$ 14,5) A
"2"	48	11,3 ($\pm$ 1,1) A	19,8 ($\pm$ 4,9) AB	7,5 ($\pm$ 1,6) AB	1,9 ($\pm$ 0,2) A	0,35 ($\pm$ 0,02) B	74,4 ($\pm$ 9,1) A
"9"	17	6,7 ($\pm$ 0,5) C	12,8 ($\pm$ 0,6) B	4,2 ($\pm$ 0,5) B	2,6 ($\pm$ 0,3) A	0,43 ($\pm$ 0,03) A	50,85 ($\pm$ 11,1) A
"10"	32	7,2 ($\pm$ 1,3) BC	-	-	-	0,31 ($\pm$ 0,02) B	74,4 ($\pm$ 8,1) A
		F = 11,01 p < 0,001	F = 7,53 p = 0,003	F = 6,83 p = 0,003	F=2,65 p=0,081	F = 14,13 p < 0,001	F = 1,54 p = 0,214

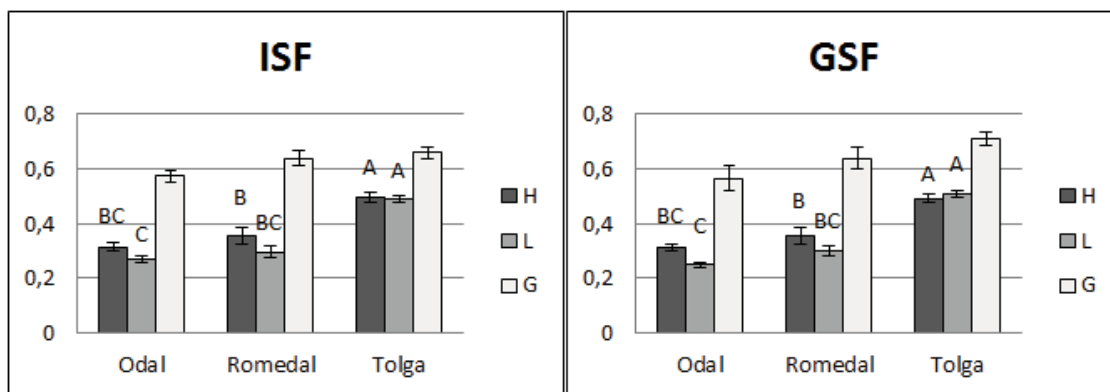
Apikal dominans og antall skudd var mindre hos de undertrykte granplantene enn hos de beitede plantene og plantene i kategori «1» (tabell 5). Lysmålingene viste at de undertrykte granplantene gjennomsnittlig hadde hatt lavere lystilgang (diffust lys) enn plantene i kategoriene «1» og «2», og de mest undertrykte plantene (kategori «9b») hadde også signifikant høyere verdier av konkurranseindeksen enn de andre kategoriene av planter.

Furuplantene i kategori «1» hadde signifikant høyere tilvekst enn de undertrykte furuplantene i begge periodene (tabell 5). De beitede furuplantene hadde signifikant høyere tilvekst enn de undertrykte plantene i perioden 2004-2007, men ikke i perioden 2007-2011. Det var ikke

signifikant forskjell på tilveksten i kategoriene «1» og «2» i noen av periodene. De ulike kategoriene furuplanter hadde ikke signifikant forskjellig apikal dominans, men antall skudd var derimot lavere hos de undertrykte plantene enn hos plantene i kategori «1».

3.3 Lysforhold og konkurranseindekser i behandlingsalternativene H og L

Behandlingene H og L ga ikke signifikant forskjellig lystilgang på noen av feltene, verken for diffust eller totalt lys (figur 9). Feltet på Tolga skilte seg ut med signifikant høyere lystilgang enn de to andre feltene, både når det gjelder diffust og totalt lys. For å gi en pekepinn på lystilgangen i gruppehogstene er gjennomsnittsverdiene fra lysmålingene utført i 2004 vist i figur 9. Disse dataene er holdt utenfor variansanalysene, for å unngå direkte sammenligninger av målinger fra 2004 og 2007.

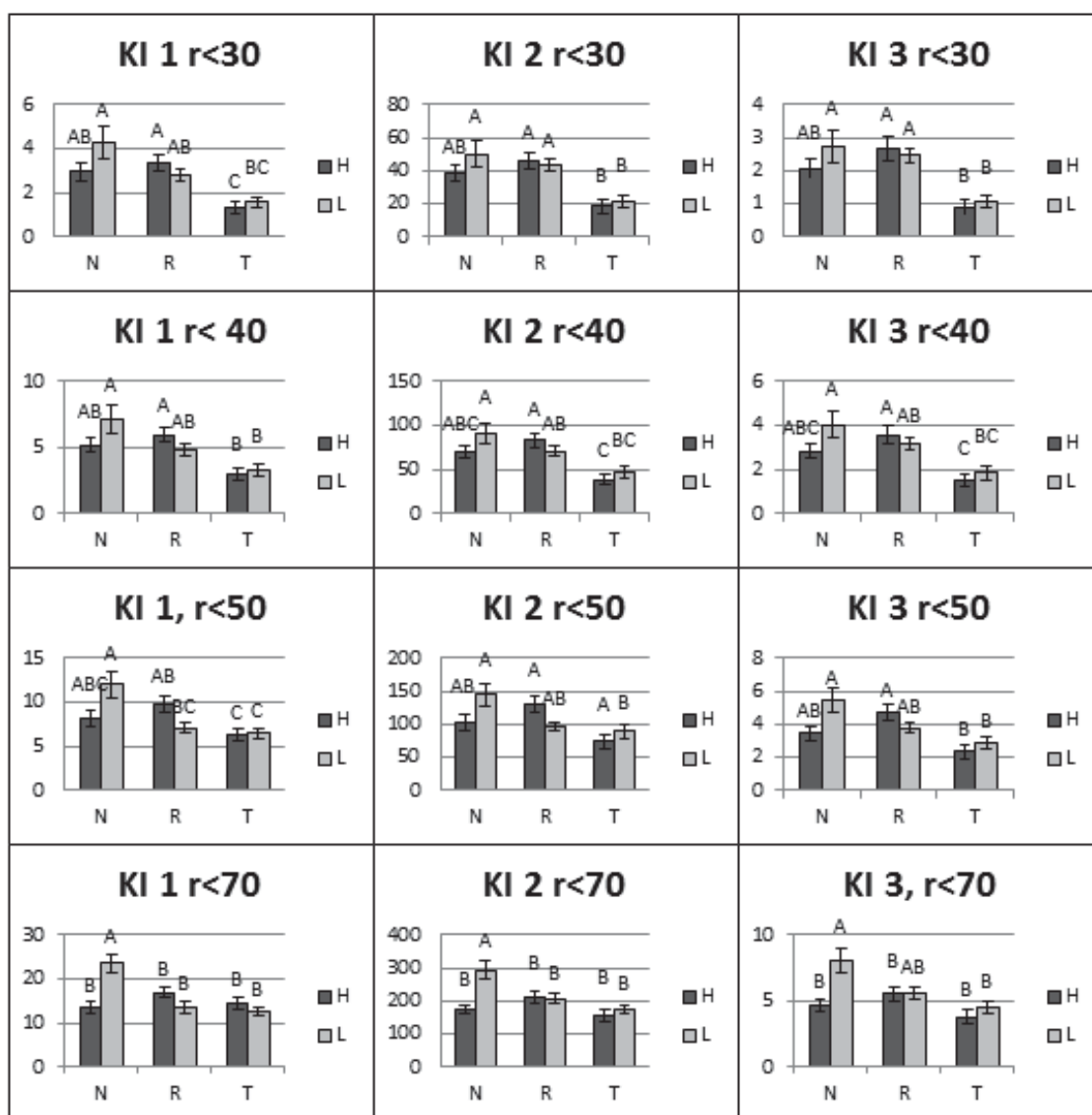


Figur 9: Andel diffust lys (ISF) og totalt lys (GSF), gjennomsnittsverdier av alle målingene på hver prøveflate. Feilfeltene viser standardfeil. Behandlingsalternativ som har samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå. Målingene fra gruppehogstene stammer fra 2004, og er kun tegnet inn for å gi en pekepinn på lysforholdene i gruppehogstene, disse er ikke testet statistisk mot lysmålingene fra H og L.

Forskjellen i effekten av behandlingene H og L på konkurranseindeksene var størst i Nord-Odal, og minst på Tolga (figur10). Både i Nord-Odal og på Tolga hadde konkurranseindeksene gjennomsnittlig høyere verdier i alternativ L enn i alternativ H. I Romedal var det derimot behandling H som hadde de høyeste verdiene. Tendensen var den samme for alle konkurranseindeksene og alle radiene, men det varierte hvorvidt forskjellene mellom behandlingsalternativene og forsøksfeltene var statistisk signifikante (figur 10).

Alle konkurranseindeksene hadde sterkt signifikant sammenheng med lysmålingene, dette gjaldt både når analysene ble gjort på hele datamaterialet (tabell 6 og figur 11) og når feltene ble analysert enkeltvis (resultater ikke vist). Samtlige analyser av ISF versus konkurranseindekser på enkeltvis felt var signifikante på $p = 0,001$ -nivå, mens analysene av GSF versus KI hadde p -verdier $\leq 0,02$. Imidlertid varierte graden av korrelasjon en del.

Generelt var korrelasjonen mellom diffust lys og konkurranseindeksene større enn korrelasjonen mellom totalt lys og konkurranseindeksene.

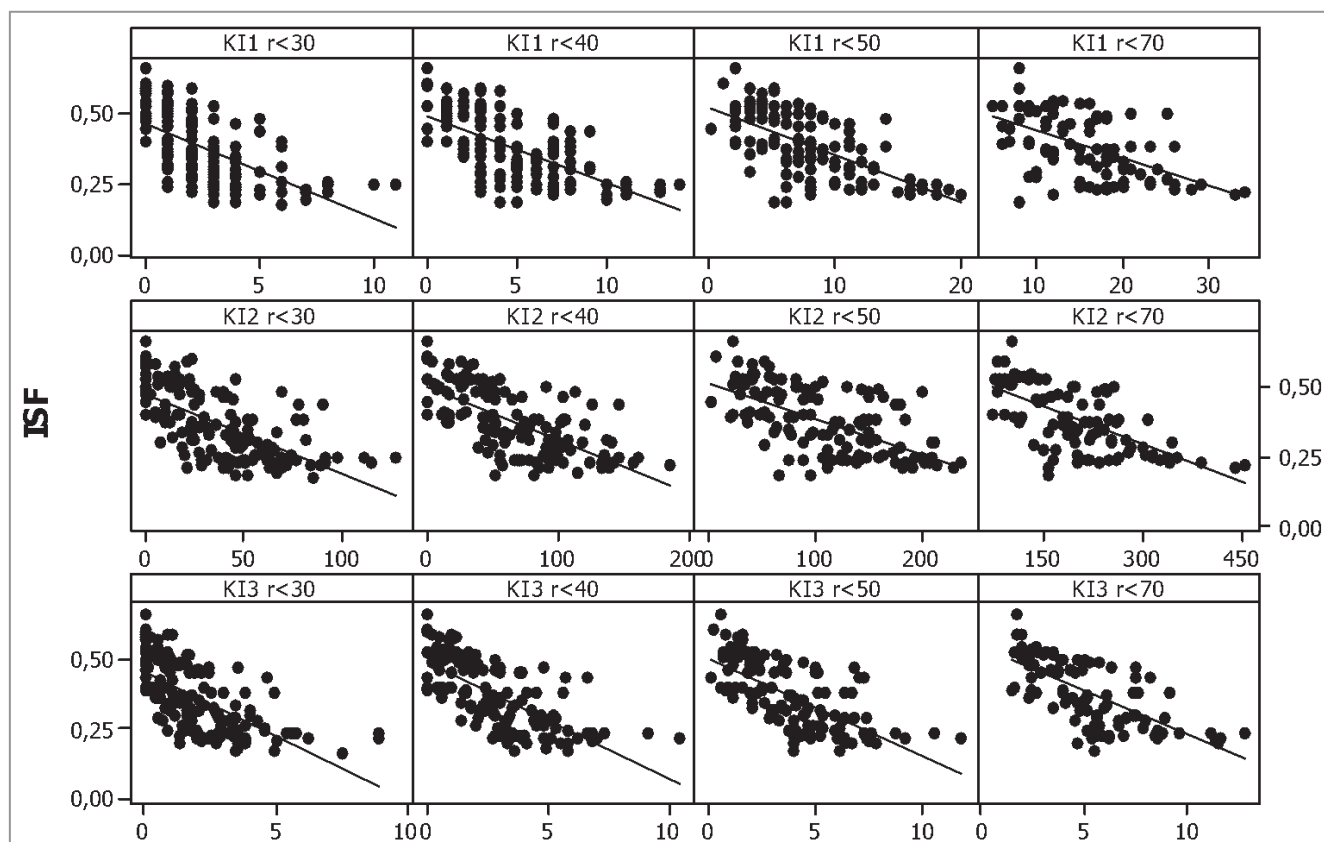


Figur 10: Gjennomsnittsverdier av konkurranseindeksene for hver prøveflate, N = Nord-Odal, R= Romedal og T = Tolga. Feilfelt viser standardfeil. Verdier merket med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå.

Når forsøksfeltene ble analysert enkeltvis var KI 3 med radius 7 m den konkurranseindeksen som hadde sterkest korrelasjon med lysmålingene, både ISF og GSF. Dette gjaldt i alle tilfellene, med kun ett unntak (GSF i Romedal). For KI 1 og KI 2 ga radius 7 m svakere korrelasjon enn radius 4 m når feltene ble analysert samlet, men når feltene ble analysert separat varierte det hvilken radius som ga størst korrelasjon. Det var også en tendens til at korrelasjonen mellom ISF og konkurranseindeksene var sterkest i Nord-Odal (R^2 -verdier fra 33,1 % til 62,5 %), og svakest på Tolga (R^2 -verdier fra 16,6 % til 40,1 %).

Tabell 6: Regresjonsanalyser av forholdet mellom lysmålingene og konkurranseindeksene. Lineær regresjon er brukt, $y = a + bx$. Alle målinger er inkludert.

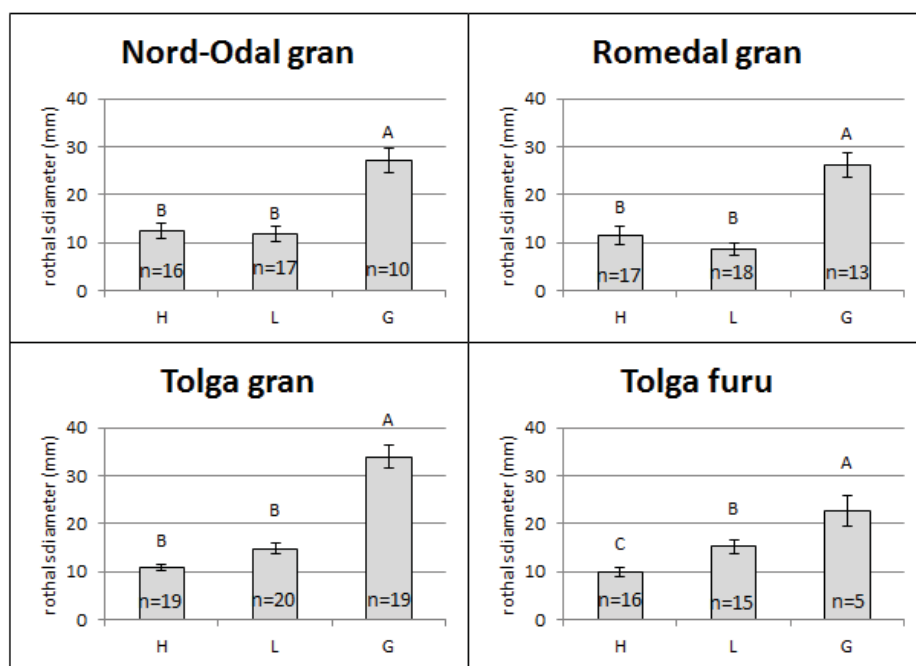
x-variabel	ISF					GSF				
	n	a	b	p-verdi	R^2 , %	n	a	b	p-verdi	R^2 , %
KI1 r<30 dm	167	0,460	-0,034	<0,001	37,6	167	0,458	-0,033	<0,001	33,8
KI1 r<40 dm	146	0,488	-0,024	<0,001	37,7	146	0,483	-0,022	<0,001	33,6
KI1 r<50 dm	129	0,501	-0,017	<0,001	36,1	129	0,500	-0,015	<0,001	29,9
KI1 r<70 dm	96	0,537	-0,010	<0,001	31,0	96	0,522	-0,009	<0,001	24,3
KI2 r<30 dm	167	0,471	-0,003	<0,001	42,7	167	0,466	-0,003	<0,001	36,7
KI2 r<40 dm	146	0,498	-0,002	<0,001	44,6	146	0,491	-0,002	<0,001	37,9
KI2 r<50 dm	129	0,507	-0,001	<0,001	37,3	129	0,495	-0,001	<0,001	29,5
KI2 r<70 dm	96	0,555	-0,001	<0,001	40,9	96	0,538	-0,001	<0,001	32,0
KI3 r<30 dm	167	0,458	-0,045	<0,001	42,4	167	0,453	-0,042	<0,001	35,5
KI3 r<40 dm	146	0,487	-0,041	<0,001	47,3	146	0,480	-0,038	<0,001	40,0
KI3 r<50 dm	129	0,502	-0,035	<0,001	45,9	129	0,492	-0,031	<0,001	37,3
KI3 r<70 dm	96	0,538	-0,031	<0,001	47,3	96	0,525	-0,028	<0,001	38,0



Figur 11: Plott av diffust lys (ISF) mot konkurranseindekser, med tilpassede lineære funksjoner. Alle målinger er inkludert.

3.4 Vekst og vitalitet sett i forhold til skogbehandling

Plantene i gruppehogstene var generelt større og mer vitale enn plantene som sto under skjerm (behandlingene H og L), dette gjaldt alle forsøksfeltene og begge artene (figurene 12-16). I datagrunnlaget for disse figurene er alle planter med beitede toppskudd ekskludert. Ettersom nesten alle furuplantene i Nord-Odal og Romedal var beitet, er bare furudata fra Tolga presentert.

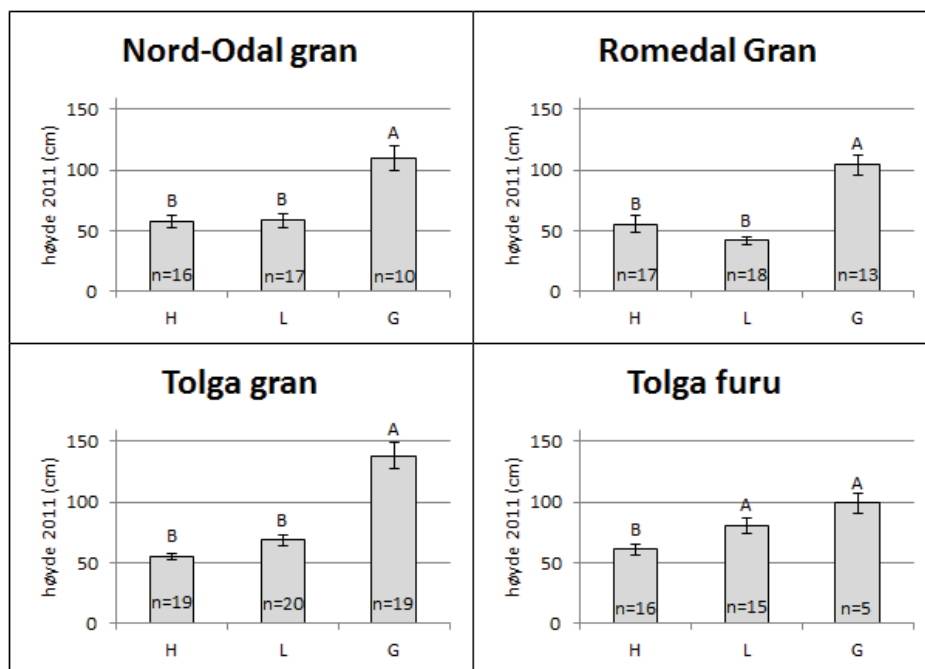


Figur 12: Rothalsdiameter 2012, gjennomsnitt og standardfeil. Beitede planter er ekskludert. Behandlingsalternativer som er merket med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå.

Granplantenes høyde (figur 13) og rothalsdiameter (figur 12) var ikke signifikant forskjellig i behandlingene H og L, men på alle forsøksfeltene var granplantene i gruppehogstene signifikant større enn i behandlingene H og L. Furuplantene på Tolga var signifikant større ved behandling L enn ved behandling H, både når det gjaldt rothalsdiameter og høyde. Furuplantenes rothalsdiameter var signifikant større i behandling G enn i behandling L (figur 12), mens det ikke var noen signifikant forskjell på høyden i behandlingene G og L (figur 13).

Ved sammenligning av gran- og furuplantene på Tolga viste det seg at artene ikke hadde signifikant forskjellig høyde i 2011 ($p = 0,10$). Gjennomsnittlig høyde for gran på Tolga i 2011 var $86,9 (\pm 6,3)$ cm, mens gjennomsnittlig høyde for furu var $74,3 (\pm 4,2)$ cm. På utplantingstidspunktet var granplantene signifikant høyere enn furuplantene ($p < 0,001$), hvis hele materialet sees samlet var granplantene gjennomsnittlig $15,1 (\pm 0,3)$ cm ved utplantning, mens furu gjennomsnittlig var $4,8 (\pm 0,5)$ cm. Også hvis feltet på Tolga sees isolert var

granplantene signifikant større enn furuplantene ved utplanting, gran var gjennomsnittlig 13,8 ($\pm 0,51$) cm mens gjennomsnittlig høyde på furuplantene på Tolga var 4,2 ($\pm 0,59$) cm.



Figur 13: Høyde 2011, gjennomsnitt og standardfeil. Beitede planter er ekskludert. Behandlingsalternativer som er merket med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå.

Hvis alle feltene sees samlet hadde furu noe større gjennomsnittlig årlig høydevekst enn gran i perioden 2004-2007, furuplantene vokste gjennomsnittlig 8,5 ($\pm 0,45$) cm/år, mens gran gjennomsnittlig vokste 7,5 ($\pm 0,28$) cm/år, denne forskjellen var nær signifikant ($p = 0,056$). I perioden 2007-2011 var det ikke signifikant forskjell på gjennomsnittlig årlig høydevekst hos furu og gran på Tolga ($p = 0,55$). Gjennomsnittlig årlig tilvekst hos furu i perioden 2007-2011 var 17,0 ($\pm 1,3$) cm, mens granplantenes gjennomsnittlige tilvekst var 18,2 ($\pm 1,6$) cm.

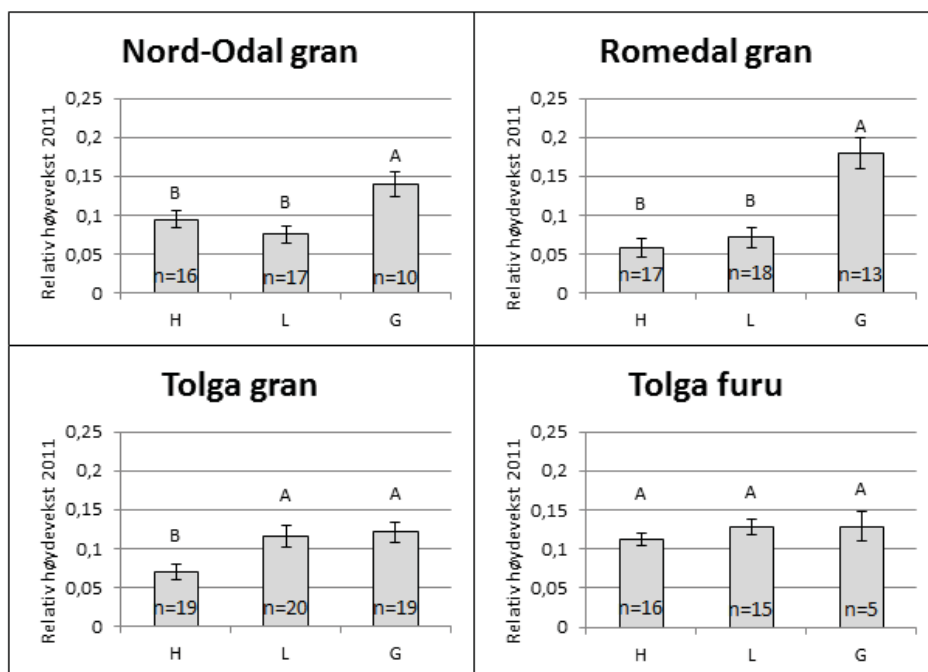
På Tolga hadde gran signifikant større rothalsdiameter enn furu i 2012 ($p = 0,003$).

Granplantenes gjennomsnittlige rothalsdiameter var 19,8 ($\pm 1,6$) mm, mens furuplantenes rothalsdiameter var 13,8 ($\pm 1,1$) mm.

Relativ toppskuddlengde 2011 på feltene i Nord-Odal og Romedal fulgte samme tendens som høyde og rothalsdiameter (figur 14), det vil si at det ikke var signifikant forskjell på behandling H og L, mens behandling G skilte seg ut med signifikant høyere gjennomsnitt. For granplantene på Tolga var det signifikant forskjell på behandlingene L og H. For furuplantene på Tolga var det ikke signifikant forskjell på noen av behandlingsalternativene.

Gjennomsnittlig relativ toppskuddlengde for furuplanter på Tolga var 0,12 ($\pm 0,01$), mens

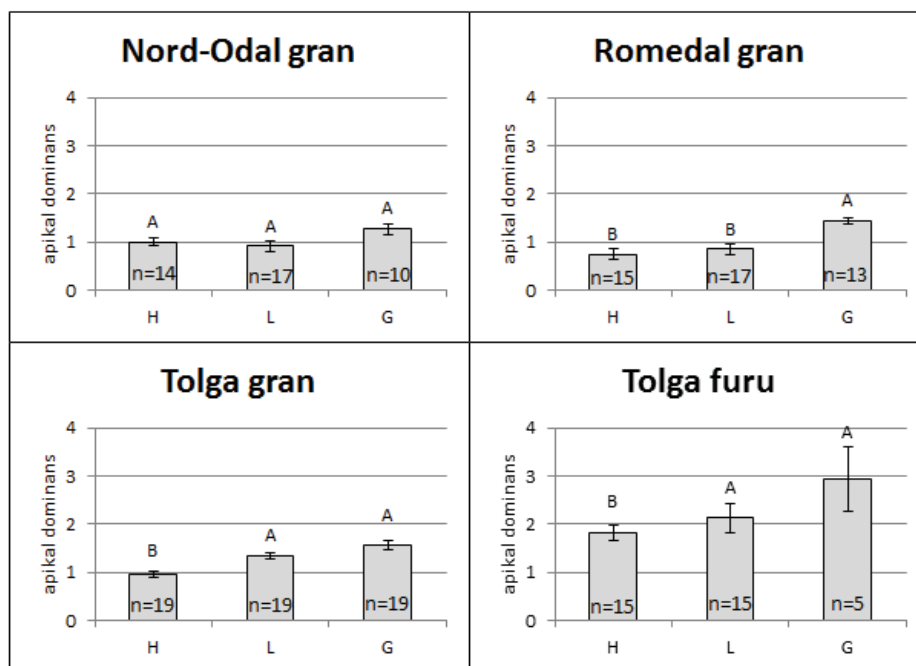
gjennomsnittlig relativ toppskuddlengde for granplantene på Tolga var $0,10 (\pm 0,01)$. Forskjellen mellom gran og furu var nær signifikant ($p = 0,06$).



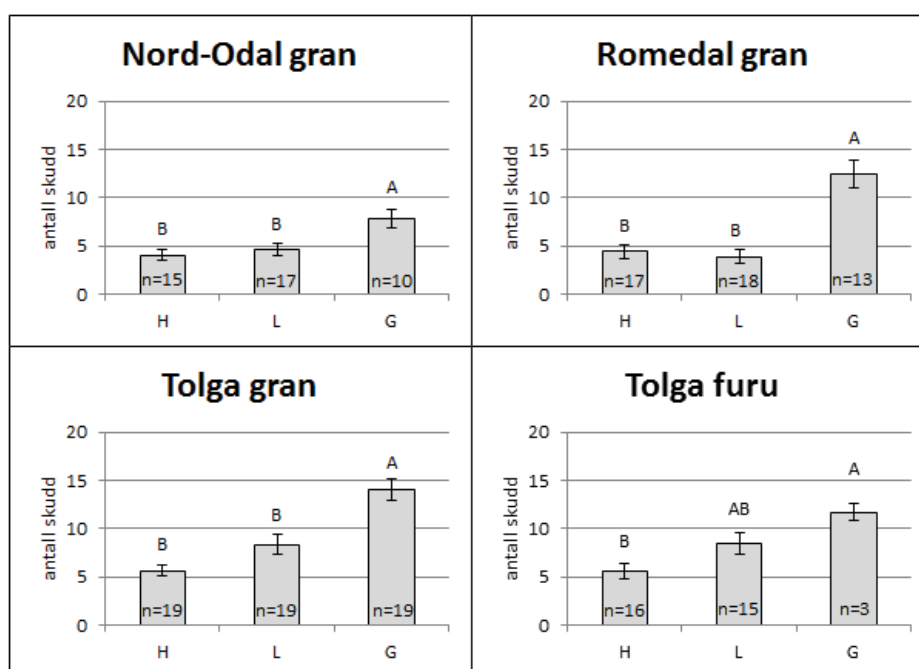
Figur 14: Relativ toppskuddlengde 2011, gjennomsnitt og standardfeil. Beitede planter er ekskludert. Verdier med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå.

Granplantene i Nord-Odal skilte seg ut med at det ikke var noen signifikant forskjell på apikal dominans i de ulike behandlingsalternativene (figur 15). Apikal dominans hos furuplantene på Tolga fulgte samme tendens som apikal dominans hos granplantene på Tolga, men furuplantene hadde signifikant høyere verdier enn gran ($p < 0,001$). Gjennomsnittsverdiene for apikal dominans for furu på Tolga var $2,1 (\pm 0,2)$, mens gjennomsnittsverdien for apikal dominans for gran på Tolga var $1,3 (\pm 0,1)$.

Antall skudd var signifikant høyere hos granplanter i gruppehogstene enn hos plantene som sto under skjerm, og det var ikke noen signifikant forskjell på behandlingene H og L (figur 16). Dette gjaldt alle forsøksfeltene. Furuplantene på Tolga hadde signifikant høyere antall skudd i gruppehogstene enn i behandling H, mens behandling L ikke var signifikant forskjellig fra verken G eller H.



Figur 15: Apikal dominans 2011. Gjennomsnitt og standardfeil. Beitede planter er ekskludert. Verdier som er merket med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå.



Figur 16: Antall skudd 2011, gjennomsnitt og standardfeil. Beitede planter er ekskludert. Verdier merket med samme bokstav er ikke signifikant forskjellige på 95 % konfidensnivå.

3.5 Vekst og vitalitet sett i forhold til lystilgang og konkurransesituasjon

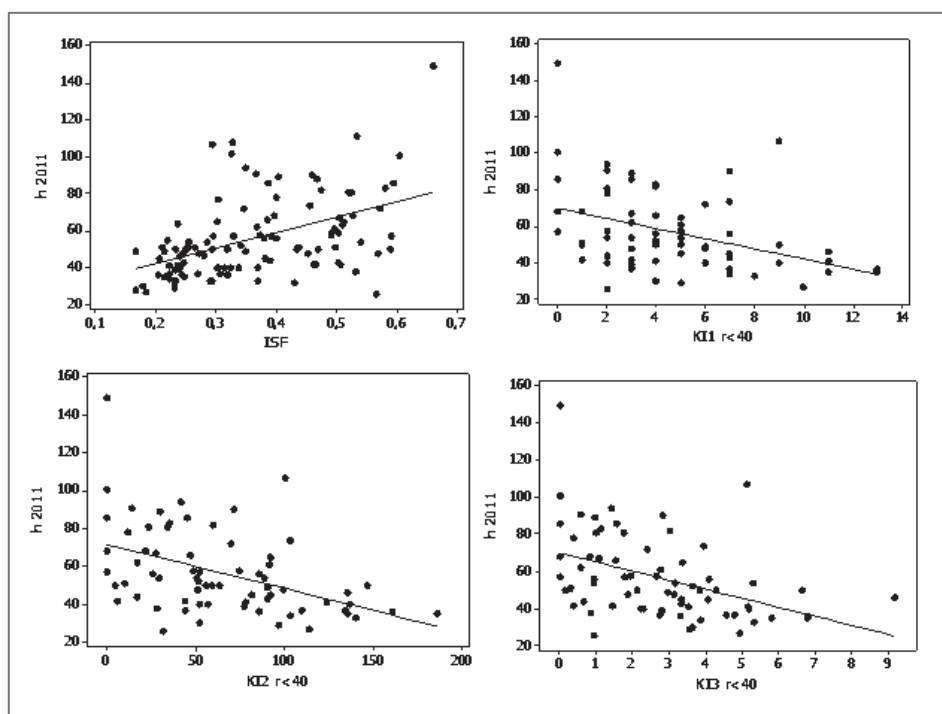
De tilpassede funksjonene hvor lystilgang (ISF eller GSF) ble brukt som forklaringsvariabel for høyde og rothalsdiameter var signifikante, både for gran og furu (tabellene 7 og 8). Alle de testede forklaringsvariablene ga sterkt signifikante funksjoner for gran, mens bare lysmålingene ga signifikante funksjoner for furu (tabellene 7 og 8).

Ulike konkurranseindekser og ulike radier hadde varierende forklaringsevne for høyde og diameter hos gran. Det var en tendens til at radiene 4 og 5 m ga en sterkere korrelasjon enn radiene 3 og 7 m. Generelt ga KI 2 og KI 3 gitt sterkere korrelasjoner enn KI 1.

Tabell 7: Rothalsdiameter 2012. Regresjonsanalyser med ulike forklaringsvariabler (x-variabler). Lineær regresjon, $y = a + bx$. Datagrunnlaget for regresjonsanalysene er alle granplantene, for furu er datagrunnlaget furuplantene på Tolga. Beitede planter er ekskludert.

x-variabel	Gran					Furu				
	n	a	b	p-verdi	R^2 , %	n	a	b	p-verdi	R^2 , %
ISF	107	3,827	21,540	<0,001	19,8	31	-6,6	39,000	0,007	20,1
GSF	107	4,085	20,660	<0,001	18,8	31	-11,5	48,100	0,001	29,5
KI1<30 dm	83	13,99	-0,921	<0,001	13,4	24	13,3	-0,603	0,39	0
KI1<40 dm	69	15,31	-0,718	0,001	14,6	22	14,1	-0,450	0,45	0
KI1<50 dm	62	16,72	-0,601	0,001	16,6	18	13,4	-0,234	0,56	0
KI1<70 dm	48	16,6	-0,291	0,036	7,3	13	19,8	-0,536	0,07	19,9
KI2<30 dm	83	14,54	-0,087	<0,001	18,1	24	12,9	-0,031	0,52	0
KI2<40 dm	69	15,77	-0,060	<0,001	19	22	14	-0,032	0,39	0
KI2<50 dm	62	16,67	-0,047	<0,001	18,9	18	11,9	-0,003	0,89	0
KI2<70 dm	48	17,18	-0,026	0,015	10,2	13	16,3	-0,026	0,21	6,4
KI3<30 dm	83	13,76	-1,209	<0,001	13,2	24	13,1	-0,724	0,40	0
KI3<40 dm	69	15,46	-1,309	<0,001	18,1	22	13,9	-0,775	0,32	0,2
KI3<50 dm	62	16,2	-1,200	<0,001	19,2	18	12,4	-0,265	0,65	0
KI3<70 dm	48	16,81	-0,928	0,007	13,1	13	15	-0,729	0,28	2,5

Regresjonsanalysene av relativ toppskuddlengde 2011 (resultatene er ikke presentert) viste at hverken lystilgang eller konkurranseindekser kunne forklare noe av variasjonen hos furu ($R^2 = 0$ % og $p > 0,3$ for alle forklaringsvariabler). Hos gran ga alle de testede forklaringsvariablene signifikante funksjoner, og i dette tilfellet var det KI 2, med radius 7 m som var den beste forklaringsvariabelen ($R^2 = 16$ %, $p = 0,003$). For relativ toppskuddlengde hos gran ga konkurranseindeksene bedre forklaringsevne jo større radius som ble brukt, dette



Figur 17: Eksempel på dataplott med tilpassede lineære funksjoner. Høyde 2011 er plottet mot henholdsvis ISF (øverst til venstre), KI 1 r<40 dm (øverst til høyre), KI 2 r<40 dm (nederst til venstre) og KI 3 r<40 dm (nederst til høyre).

Tabell 8: Regresjonsanalyser av høyde 2011 som funksjon av ulike forklaringsvariabler. Lineær regresjon, $y = a + bx$. Datagrunnlaget for analysen er alle granplantene, for furu er datagrunnlaget furuplantene på Tolga. Beitede planter er ekskludert.

	Gran					Furu				
x-variabel	n	a	b	p-verdi	R^2 , %	n	a	b	p-verdi	R^2 , %
ISF	107	25,5	83,740	<0,001	22,1	31	2,6	139,000	0,032	12,0
GSF	107	26,8	79,480	<0,001	20,6	31	-12,7	167,000	0,012	17,1
KI1<30 dm	83	65,1	-3,541	<0,001	13,7	24	73,3	-2,830	0,36	0
KI1<40 dm	69	70,0	-2,769	0,001	15,2	22	76,6	-2,150	0,41	0
KI1<50 dm	62	75,9	-2,334	<0,001	17,4	18	78,9	-1,720	0,38	0
KI1<70 dm	48	74,9	-1,160	0,025	8,5	13	107,0	-2,720	0,055	23,1
KI2<30 dm	83	67,1	-0,330	<0,001	17,9	24	72,0	-0,162	0,43	0
KI2<40 dm	69	71,8	-0,232	<0,001	19,8	22	75,2	-0,140	0,38	0
KI2<50 dm	62	75,5	-0,181	<0,001	19,3	18	68,9	-0,031	0,78	0
KI2<70 dm	48	78,4	-0,110	0,006	13,5	13	87,9	-0,125	0,21	6,2
KI3<30 dm	83	63,5	-4,244	0,001	11,0	24	72,5	-3,510	0,35	0
KI3<40 dm	69	70,0	-4,845	<0,001	17,2	22	75,0	-3,370	0,32	0,1
KI3<50 dm	62	73,2	-4,467	<0,001	18,3	18	71,2	-1,670	0,57	0
KI3<70 dm	48	75,2	-3,594	0,005	14,1	13	80,9	-3,350	0,30	1,4

gjaldt alle de tre konkurranseindeksene. Korrelasjonskoeffisientene var generelt lavere i analysene av relativ tilvekst enn i analysene av høyde og diameter.

Regresjonsanalysene av apikal dominans (resultatene er ikke presentert) viste at ingen av forklaringsvariablene ga signifikante funksjoner for furu. For gran ga alle variablene unntatt KI 3 med radiene 3, 4 og 7 m signifikante funksjoner. Lysmålingene hadde langt sterkere korrelasjon med apikal dominans hos gran enn hva konkurranseindeksene hadde, og diffust lys er den forklaringsvariabelen som gir sterkest korrelasjon, $R^2 = 27,0 \%$ ($p < 0,001$).

Regresjonsanalysene av antall skudd (resultatene er ikke presentert) viste at for furu var det kun lysmålingene og KI 1 med radius 7 m som ga signifikante funksjoner. Best forklaringsevne hadde KI 1, radius 7 m, med $R^2 = 31,2 \%$ ($p = 0,028$). For gran ga alle forklaringsvariablene signifikante funksjoner. Størst forklaringsevne hadde lysmålingene, som begge ga sterkt signifikante funksjoner ($p < 0,001$ for begge), og høyest korrelasjonskoeffisient ga GSF ($R^2 = 27,5 \%$). KI 1 og KI 2 ga i dette tilfellet størst korrelasjon ved radius 3 m, mens KI 3 ga størst korrelasjon ved radius 7 m.

4 Diskusjon

4.1 Overlevelse

Behandlingsalternativene H og L ser ikke ut til å ha hatt noen effekt på mortaliteten (figur 6), det varierer hvorvidt det er H eller L som har størst mortalitet, og det er heller ikke slik at mortaliteten hos gran og furu varierer på samme måte ut i fra behandlingsalternativ. Ettersom kun prøveplantene ble registrert i behandling G, er det ikke mulig å si noe om mortaliteten i dette behandlingsalternativet.

Prøveplantene hadde lavere mortalitet enn plantematerialet for øvrig, dette skyldes nok at prøveplantene ble valgt ut blant relativt friske planter i 2007, på et tidspunkt hvor en vesentlig andel av mortaliteten allerede hadde inntruffet

Med det lave antallet døde prøveplanter av gran ble det en lite meningsfylt statistisk analyse av hvorvidt lystilgangen eller konkurranseindeksene som ble målt for de døde prøveplantene skilte seg vesentlig fra de verdiene som overlevende planter opplevde (tabell 5). Dermed er det uvisst om mortaliteten hos gran kan tilskrives lys- eller konkurranseforholdene. Av samme grunn er det også umulig å vite om de granplantene som døde i utgangspunktet hadde lavere

tilvekst (var mer undertrykte) enn de plantene som overlevde (tabell 5). I følge Kobe og Coates (1997) kan man forvente at de plantene som har lavest tilvekst er mest utsatt for å dø som følge av undertrykkelse.

Furu hadde større mortalitet enn gran (dette gjaldt både prøveplantene og alle plantene). Jeg antar at en stor del av mortaliteten hos furu skyldes beiting. Dette kan ikke bevises, men sett i lys av den store forekomsten av beiteskader på de levende plantene (figur 7) mener jeg at det er sannsynlig. At mortaliteten hos furu var lavere på Tolga enn i Nord-Odal og Romedal, samtidig som forekomsten av beiteskader på levende planter var lavere i Tolga enn på de to andre feltene, mener jeg er et godt indisium på at det er beiting som forårsaket den store avgangen av furuplanter.

Hypotetisk burde eventuell mortalitet som følge av for liten lystilgang inntreffe i større grad hos furu enn gran, men det er vanskelig å skille eventuell mortalitet som skyldes manglende lystilgang ut fra den mortaliteten som skyldes beiting. Både beiteskader og mortalitet hos furu var størst på de to forsøksfeltene med lavest lystilgang, mens de fleste ikke-beitede plantene er på forsøksfeltet med størst lystilgang. Dette gjør at sammenligninger av lystilgang og konkurranseindekser for de døde, beitede og ikke-beitede plantene (tabell 5) blir påvirket av forskjellene mellom feltene, slik at det er vanskelig å vurdere den direkte effekten av lys og konkurranse på overlevelsen til furu. De døde furuprøveplantene har i utgangspunktet ikke hatt lavere tilvekst fram til 2007 enn de som har overlevd (tabell 5).

4.2 Tilstand og skader

Beiteskader var den viktigste årsaken til skader på furu, men problemet var altså ikke helt ubetydelig hos gran heller. Tendensen til at en større andel av prøveplantene i gruppehogstene var utsatt for beiteskader enn prøveplantene under skjerm (selv om tendensen ikke var statistisk signifikant) kan tolkes dithen at mer vitale planter er mer foretrukne til beiting, ettersom plantene i gruppehogstene generelt var litt større enn plantene under skjerm. En annen (ikke statistisk signifikant) tendens som kan tolkes i samme retning var at forekomsten av beiteskader blant prøveplantene var noe høyere enn blant alle plantene, og med tanke på at prøveplantene ble valgt ut blant de plantene som fortsatt var vitale i 2007, innebar dette en overrepresentasjon av vitale planter blant prøveplantene. Også tabell 5 gir indikasjoner på at de plantene som ble beitet i utgangspunktet hadde vært blant de mest vitale. Edenius et al. (2002) hevder at mer vitale planter er foretrukne beiteplanter for elg, og at kombinasjonen av lys og vital foryngelse er gunstig for elgen. Denne kombinasjonen tilbyr gruppehogstene.

Beiting av toppskudd vil kunne føre til virkesfeil, da en eller flere sidegrener tar over som toppskudd etter en slik skade. Dette kan igjen føre til tennar, sleng, gankvister eller flere stammer. Beiteskader inntreffer i en høyde på stammen hvor alvorlige virkesfeil kan føre til stort verditap.

Også planter som ikke er utsatt for beiting har fått toppskuddskader som potensielt kan føre til virkesfeil. En del av plantene har fått døde toppskudd, noe som vil føre til at en eller flere sidegrener tar over som toppskudd (figur 7). Dette vil kunne føre til de samme typene virkesfeil som beiting av toppskudd. Dobbeltopper vil kunne føre til enten gankvist eller flere stammer. Som nevnt i avsnitt 3.2 hadde en stor andel av plantene med tidligere dobbeltopp fortsatt flere likeverdige stammer i 2012.

Det varierer nok hvorvidt de registrerte toppskuddskadene vil føre til virkesfeil som gir verditap, mye avhenger av hvilken høyde på stammen skadene inntreffer i. Virkesfeil på høyde med stubbeavskjær er ikke så problematiske, mens virkesfeil lengre opp på rotstokken er svært uheldig. Prøveplantenes høyde var fra 7-224 cm i 2011, dette betyr at de minste plantene (som var såpass lave fordi de var beitet ned) ikke nådde opp til stubbeavskjær, mens de største plantene hadde nådd opp i en høyde hvor alvorlige virkesfeil kan gi stort verditap.

En svært stor andel av plantene under skjerm ble registrert som undertrykte i 2012. Det er ikke uventet at planter som vokser under skjerm er undertrykte. Den langsomme tilveksten hos disse plantene vil trolig komme til å gi høy tetthet i trevirket, noe som er gunstig med tanke på virkeskvalitet (forutsatt at plantene ikke dør som følge av undertrykkelse).

4.3 Vekst og vitalitet

Generelt ser behandlingsalternativene H og L ikke ut til å ha hatt ulik effekt på foryngelsen, mens gruppehogstene har skilt seg ut. At foryngelsen i de to skjermbehandlingsalternativene ikke har skilt seg fra hverandre kan sees i sammenheng med lystilgang og konkurransesituasjon. Alternativene H og L har ikke på noen av feltene gitt signifikant forskjellig lystilgang, og bare for et fåtall av de undersøkte kombinasjonene av konkurranseindeks og radius har det vært signifikant forskjellige verdier i behandling H og L på samme forsøksfelt.

Foryngelsens tilvekst er mindre jo større stående volum (Lin et al. 2012) eller grunnflate (Stancioiu & O'Hara 2006) skjermtrærne har. At det stort sett ikke var forskjell i foryngelsens vekst i behandling H og L tyder på at forskjellen i hogstuttak mellom de to

behandlingsalternativene ikke har vært stor nok til å gi noen effekt. Samtidig bør det bemerkes at det var en del variasjon i lys- konkurransesituasjon innad på hver enkelt prøveflate, og det ser ut til at variasjonen innad på hver prøveflate har hatt større betydning for foryngelsens vekst og vitalitet enn det forskjellen mellom hogstalternativene har hatt.

At plantene i gruppehogstene generelt var større og mer vitale enn plantene under skjerm, er trolig en effekt av at gruppehogstene ga vokseforhold med mindre konkurranse og større lystilgang. Lysmålingene fra gruppehogstene ble ikke testet statistisk mot målingene fra alternativene H og L, fordi målingene ble tatt med tre års mellomrom. Det virker allikevel sannsynlig at lystilgangen generelt var større i gruppehogstene enn under skjerm (figur 9). Konkurransindekser ble ikke regnet ut for plantene i gruppehogstene, men i en ganske stor andel av arealet ville konkurranseindeksverdiene vært 0, ettersom det ikke finnes trær innenfor den aktuelle radiusen.

En gruppehogst vil imidlertid ikke innebære ensartede vokseforhold, da både lys- og konkurranseforhold varierer ut i fra avstand til kanten. For eksempel har de Chantal et al. (2003) vist hvordan lysforholdene innenfor en sirkulær gruppehogst varierer, med maksimal lystilgang et stykke nord for sentrum (på nordlige breddegrader). De fant at foryngelsens vekst varierte innenfor gruppehogsten, blant annet som følge av lystilgang. Det er grunn til å anta at foryngelsen i gruppehogstene, også i mitt datamateriale, har hatt en liknende variasjon i vekst og vitalitet ut i fra avstand til kant og sentrum i hogsten, men dette er ikke undersøkt.

Ettersom lysmålingene stammer fra 2007, og konkurranseindeksene er beregnet ut i fra data fra 2004, er det grunn til å tro at situasjonen kan ha endret seg noe etter at disse dataene ble samlet inn. Enkeltvis vindfellinger har forekommet på forsøksfeltene, dette betyr at eventuelle prøveplanter som har stått i nærheten av disse vil ha fått vesentlig redusert konkurranse og økt lystilgang etter datainnsamlingen (dette kan potensielt ha ført til uteliggere i regresjonsanalysene).

Konkurrenttrærne som konkurranseindeksene ble beregnet ut i fra vil ha hatt større diameter i 2012 enn i 2004, og det vil trolig variere fra tre til tre hvor stor diameterilveksten har vært. Noe av forhåndsgjenveksten på prøveflatene kan også ha vokst seg inn i tresjiktet etter 2004. Imidlertid er de beregnede konkurranseindeksene godt representative for situasjonen i starten av forsøket.

Trærne vil generelt prøve å lukke kronesjiktet, derfor har nok de fleste vokseplassene fått redusert lystilgang i løpet av tiden etter lysmålingene, samtidig som lystilgangen ved begynnelsen av forsøket kan ha vært større enn målingene tilsier. Sett i ettertid kunne det ha vært interessant å ta nye hemisfærefotografier i 2012, slik at det kunne ha blitt mulig å undersøke i hvilken grad lysforholdene har endret seg i løpet av perioden.

Lysforholdene er kun beskrevet ut i fra mengden synlig lys, mens lyskvaliteten ikke er undersøkt. Dette er en vanlig fremgangsmåte (brukt av for eksempel Coates og Burton 1999, Diaci og Firm 2011, Erefur et al. 2008, og Wright et al. 1998), men gir åpenbart ikke en fullstendig beskrivelse av lysforholdene. I følge Lieffers et al. (1999) er imidlertid lysmengde viktigere for planters vekst og utvikling enn lyskvalitet, selv om lyskvalitet har innvirkning på planters morfologi og utvikling. Kvaliteten på lysmålinger ved hjelp av hemisfærefotografering avhenger av skyforholdene ved fotograferingstidspunktet, eksponering og databehandling (Chianucci & Cutini 2012). Lieffers et al. (1999) hevder at hemisfærefotografier gjerne underestimerer nivået av diffust lys i skog.

Forsøksfeltet på Tolga, som var furudominert, hadde mye større lystilgang enn granforsøksfeltene. Teoretisk sett skal skyggeintolerante arter slippe mere lys gjennom kronene sine enn skyggetolerante arter (Valladares & Niinemets 2008), derfor kunne man for så vidt forvente dette. Men stående volum var såpass mye lavere på Tolga enn på de to andre feltene, at dette i minst like stor grad forklarer forskjellene i lystilgang.

Gran og furu har ikke hatt signifikant forskjellig høydevekst i løpet av perioden, og på Tolga var artenes høyde heller ikke signifikant forskjellig i 2011. Gjennomsnittlig rothalsdiameter var derimot større hos gran enn hos furu. Dette samsvarer med antagelsen til Messier et al. (1999) om at furuarter vil ha slankere stammer enn granarter hvis lystilgangen er begrenset. Ettersom bare Tolga hadde tilstrekkelig antall levende furuplanter i 2012 til å sammenligne gran og furu, betyr dette at sammenligningen av artene dessverre bare gjelder en begrenset del av den variasjonen i lys- og konkurranseforhold som fins i dette datamaterialet.

Sammenligningen av høydevekst hos gran og furu kan ha blitt påvirket av beitingen. Beitede planter ble ekskludert fra de statistiske analysene, men dyrenes utvalg av beiteplanter kan ha fått innvirkning på gjennomsnittsverdiene. Hvis dyrene for eksempel konsekvent beiter på de mest hurtigvoksende furuplantene, vil dette føre til at kun de mindre hurtigvoksende plantene regnes med i gjennomsnittet.

Før hogst ble tilveksten hos den naturlige foryngelsen på disse forsøksfeltene registrert (Hanssen et al. 2007). Gjennomsnittlig høydevekst hos granforyngelsen var da 3 cm/år og gjennomsnittlig høydevekst hos furuforyngelsen var 5 cm/år. Sammenlignet med dette har prøveplantenes gjennomsnittlige årlige høydevekst i perioden 2004-2011 vært større, 7,4 cm/år for gran og 8,5 cm/år for furu. Hogstene har dermed lagt til rette for økt tilvekst hos foryngelsen (jfr. Lin et al 2012).

Grassi og Giannini (2005) anbefalte med utgangspunkt i et italiensk forsøk at granforyngelse burde ha minst 20 % lystilgang for å unngå lysstress, og Mason et al. (2004) anbefalte, ut i fra skotske data, at furuforyngelse burde ha lystilgang på 30 % for å utvikle seg tilfredsstillende. Til sammenligning var gjennomsnittsverdiene for lysmålingene i behandlingene H og L i Romedal og Nord-Odal 25-35 %, mens gjennomsnittsverdiene på Tolga (H og L) var rundt 50 %. Hvis disse anbefalingene legges til grunn, betyr dette at gjennomsnittlig lystilgang på alle forsøksfelter og i alle behandlingsalternativer var tilstrekkelig for granforyngelse, mens lystilgangen i behandlingene H og L i Nord-Odal og Romedal var i grenseland for hva som er tilstrekkelig for furu (så kan det jo diskuteres om slike anbefalinger er direkte overførbare til vårt klima, jfr. Wright et al. (1998)). Grassi og Giannini (2005) skriver også at en enkel metode for å anslå om granplanter er lysstressede er å vurdere apikal dominans. De mener at som en slags tommelfingerregel vil granplanter som ikke er utsatt for lysstress ha apikal dominans > 1 , noe som i deres forsøk tilsvarte lystilgang på 20 %. I mitt datamateriale var gjennomsnittsverdien for apikal dominans hos gran noe under 1 i behandlingsalternativene H og L i Romedal, mens apikal dominans hos gran på de andre feltene var 1 eller mer (figur 15).

Som ventet var det stor forskjell på verdiene for apikal dominans hos gran og furu, og furu hadde langt høyere verdier enn gran. Dette bekrefter at gran og furu har ulik vekststrategi ved lav lystilgang (jfr. Messier et al. (1999)). Granplantene som vokste ved lav lystilgang hadde med sine lave verdier for apikal dominans utviklet «paraplyform», plantene hadde altså nedprioritert høydeveksten og heller utvidet kronene sine i bredden. Furuplantene hadde med sine høye verdier for apikal dominans prioritert høydeveksten. Apikal dominans ser ut til å ha vært en god vitalitetsindikator for gran, da granplantene generelt hadde større apikal dominans jo mer vitale de var (tabell 5 og figur 15). Furuplantene hadde ingen klar variasjon i apikal dominans ut i fra vitalitet (tabell 5 og figur 15), apikal dominans var dermed ikke en egnet vitalitetsindikator for furu i dette forsøket.

Hvorvidt kategoriene i tabell 5 representerer plantenes vitalitet på en god måte er uvisst, da bedømmingen av vitalitet (kategoriene «1», «9a» og «9b») ble gjort subjektivt i felt. Imidlertid er det verdt å merke seg at det ser ut til å ha vært en tydelig samvariasjon mellom lystilgang, årlig høydevekst, apikal dominans og antall skudd hos gran. Resultatene for furu viste ikke samme tydelige tendens. Dette kan skyldes dårligere subjektiv bedømming av vitalitet hos furu, men på den andre siden var dette også forventede resultater sett i forhold til vekststrategi hos furu.

Antall skudd var den vitalitetsindikatoren som i størst grad viste samme tendens som plantestørrelse (figur 16 sett i forhold til figurene 12 og 13), og ser ut til å ha vært en god indikator på vitalitet både hos gran og furu i dette datamaterialet (tabell 5). Hvis man tar utgangspunkt i anbefalingene til Hagner (2012) om at furuforyngelse bør ha et «frihetstall» på 10-25, var furuplantene i behandling H og L på Tolga for lite vitale (antall skudd < 10), mens furuplantene i gruppehogstene var tilstrekkelig vitale (> 10 skudd).

Relativ toppskuddlengde ser ikke ut til å ha vært noen egnet indikator på vitalitet hos furu (med forbehold om at datagrunnlaget for furu er litt lite), men for gran ser også dette ut til å ha vært en brukbar indikator på vitalitet (figur 14). Regresjonsanalysene viste at både lystilgang og konkurranseindekser var signifikante forklaringsvariabler for relativ toppskuddlengde hos gran, mens hverken lystilgang eller konkurranseindekser hadde noen sammenheng med relativ toppskuddlengde hos furu. Også dette gjenspeiler at gran og furu har ulike vekststrategier, furu prioriterer høydevekst mens gran reduserer høydeveksten sin hvis lystilgangen er lav.

Regresjonsanalysene av vitalitetsindikatorer sett opp mot lystilgang viste at relativ toppskuddlengde hos gran hadde svakere korrelasjon med lystilgangen enn hva både apikal dominans og antall skudd hadde. Hos furu var antall skudd den eneste vitalitetsindikatoren som hadde signifikant sammenheng med lystilgang, og konkurranseindeksene hadde ingen påvirkning på noen av vitalitetsindikatorene hos furu. Både apikal dominans og antall skudd hos gran hadde korrelasjon med lystilgang i størrelsesordenen 25-30 %. Til sammenligning fant Grassi og Giannini (2005) korrelasjoner på rundt 50 % i sine logaritmiske regresjonsanalyser av effekten av lystilgang på henholdsvis apikal dominans og relativ tilvekst hos gran. Wright et al. (1998) gjorde ikke-lineære regresjonsanalyser av toppskuddlengde i forhold til lystilgang for amerikanske treslag, og fant svært varierende korrelasjon for ulike arter, helt fra 3-72 %.

Jeg har valgt å gjøre lineær regresjon selv om andre tidligere har funnet ulike typer ikke-lineære sammenhenger mellom vekst og lystilgang (Coates & Burton 1999; Grassi & Giannini 2005; Mason et al. 2004; Wright et al. 1998). Årsaken til dette er at plottene av mine data ikke viser et udiskutabelt ikke-lineært mønster (figur 17), og dermed er det uvisst hva slags matematisk form eventuelle ikke-lineære funksjoner skulle ha hatt. En god indikasjon på at de tilpassede funksjonene ikke gir en god nok beskrivelse av årsakssammenhengen, er at skjæringspunktene med y-aksen (a-verdiene i tabellene 7 og 8) generelt er svært urealistiske. Dette kan være et argument for at sammenhengen mellom lys og vekst egentlig er ikke-lineær, men ettersom mine data mangler målinger svært nær y-aksen (ingen av målingene viser mindre enn 16 % lystilgang), ville også ikke-lineære funksjoner være dårlig funderte i denne delen av skalaen. De urealistiske a-verdiene viser hovedsakelig at funksjonene er dårlig tilpasset utenfor dataområdet, og dermed uegnet til ekstrapolering. Innenfor dataområdet (det vil si 16-72 % lystilgang) er de lineære funksjonene godt tilpasset datamaterialet, residualene var normalfordelte, og inspeksjoner av residualplottene avslørte ingen systematiske feil.

En åpenbar årsak til at mine data framstår som lineære, er at variasjonen i forklaringsvariabelen er utilstrekkelig til å si noe om hele spekteret fra 0-100 % lystilgang, mine data mangler målinger både fra sterk skygge og fullt lys. Til sammenligning kan for eksempel den ikke-lineære funksjonen til Grassi og Giannini (2005) for sammenhengen mellom lys og relativ tilvekst hos gran se ut til å være lineær ved lystilgang over 15 %. Diaci og Firm (2011) har i likhet med meg brukt lineær regresjonsanalyser av forholdet mellom tilvekst og lystilgang, på et datamateriale som hadde svært begrenset spennvidde i lystilgang.

Regresjonsanalysene viste at det var sterkt signifikante sammenhenger mellom lysmålinger og plantenes høyde og diameter, men at lystilgangen bare forklarte en begrenset del av variasjonen (i størrelsesordenen 10-30 %). Andre forfattere har også funnet ganske varierende korrelasjonskoeffisienter i lignende regresjonsanalyser, for eksempel fant Mason et al. (2004) en korrelasjon på 27 % for forholdet mellom rothalsdiameter og lystilgang hos furu (ikke-lineær regresjon), mens Coates og Burton (1999) fant R^2 -verdier i størrelsesordenen 55-81 % i sine ikke-lineære regresjonsanalyser av forholdet mellom høyde og lystilgang hos amerikanske bartrearter.

Mange av regresjonsanalysene mine av furudata ga funksjoner som ikke var statistisk signifikante, dette kan ha en sammenheng med det lave antallet observasjoner for furu. Men samtidig har furu og gran ulike vekststrategier, derfor er det ikke uventet at

regresjonsanalysene ga forskjellige resultater for de to artene. Det at jeg har færre observasjoner for furu betyr at resultatene for furu er mer usikre enn resultatene for gran, og at grunnlaget for sammenligninger mellom artene ikke er optimalt.

Sammenhengen mellom konkurranseindekser og lystilgang kunne kanskje ha blitt beskrevet med ikke-lineære funksjoner. Til sammenligning fant Stancioiu og O'Hara (2006) at lystilgang var en avtagende eksponentiell funksjon av grunnflate (grunnflate er nært beslektet med KI 2), og Lochhead og Comeau (2012) brukte en ikke-lineær funksjon til å beskrive sammenhengen mellom lystilgang og treantall (tilsvarer KI 1). Enkelte av mine dataplott antyder en ikke-lineær sammenheng (figur 11), men det er svært få datapunkter som fører til en tilsynelatende ikke-linearitet.

Generelt var korrelasjonen mellom konkurranseindekser og lystilgang større enn korrelasjonen mellom konkurranseindekser og tilvekst (tabellene 6, 7 og 8). Ingen av de konkurranseindeksene jeg undersøkte fungerte bra for furu. Det varierte en del hvilke radier som ga best forklaringsevne. For lystilgang ga den distanseavhengige konkurranseindeksen (KI 3) størst korrelasjon ved radius 7 m, mens de andre to hadde størst forklaringsevne ved 4 m. Forklaringsevnen for tilveksten hos gran var i de fleste tilfeller best ved radier på 4 eller 5 m. Coates et al. (2009) viser tydelig hvorfor det kan være vanskelig å finne en konkurranseindeks og radius som er velfungerende for ulike arter. De fant at ulike arter trengte svært ulike søkeradier ved beregning av konkurranseindekser (en art trengte mer enn 15 m), og at artene responderte svært ulikt på konkurrentenes størrelse og avstanden til konkurrentene. Dessuten var det heller ikke uvesentlig hvilke arter som var konkurrenttrær.

I tilvekstmodellering brukes konkurranseindekser gjerne til å redusere en potensiell tilvekst hos trær (Biging & Dobbartin 1995; Coates et al. 2009). Direkte korrelering av konkurranseindekser med høyde- eller diametertilvekst frarådes av Biging og Dobbartin (1995). Imidlertid kan konkurranseindekser være så mangt, for eksempel kan treantall eller grunnflate være konkurranseindekser (Biging & Dobbartin 1995). Når foryngelse under skjerm studeres er det behov for indikasjoner på omfanget av konkurranse fra skjermtrærne, i slike sammenhenger er det derfor svært vanlig med direkte sammenligninger av foryngelsens tilvekst og en eller annen form for konkurranseindeks, som skjermtrærnes grunnflate, stående volum, eller treantall (for eksempel Lin et al. (2012); Stancioiu og O'Hara (2006)).

I mine regresjonsanalyser var ikke lysmålingene konsekvent bedre forklaringsvariabler enn konkurranseindeksene, men ettersom konkurranseindeksene i de fleste tilfeller ikke hadde

noen forklaringsevne for furu, mens lysmålingene kun for to undersøkte responsvariabler ga tilpassede funksjoner som ikke var signifikante (relativ toppskuddlengde og apikal dominans hos furu), må lysmålingene kunne sies å ha vært mer velfungerende forklaringsvariabler enn konkurranseindeksene for datasettet som helhet.

Enkelte forfattere har forsøkt å finne ut om det er lystilgangen eller rotkonkurransen som har størst innvirkning på foryngelse som vokser opp under skjerm gjennom å sammenligne hvordan lystilgang og konkurranseindekser fungerer som forklaringsvariabler i regresjonsanalyser av tilveksten hos foryngelsen. Strand et al. (2006) sammenlignet effekten av lystilgang med effekten av en slags konkurranseindeks; avstanden til nærmeste skjermtre, og fant at avstand til nærmeste skjermtre var en bedre forklaringsvariabel enn lystilgang, og konkluderte derfor med at rotkonkurranse var den viktigste faktoren i det aktuelle forsøket. Grassi og Giannini (2005) undersøkte effekten av henholdsvis lystilgang og en konkurranseindeks på apikal dominans og relativ tilvekst hos gran og fant at lystilgangen ga signifikante funksjoner, mens konkurranseindeksen ikke ga signifikante funksjoner. De konkluderte derfor med at rotkonkurranse ikke hadde noen effekt med de lysforholdene som var på deres forsøksfelter.

Hvis logikken brukt av Strand et al. (2006) og Grassi og Giannini (2005) kan brukes på mine resultater må slutningen bli at lystilgangen har hatt en langt større effekt enn rotkonkurranse på furuforyngelsen, mens effekten av rotkonkurranse og lystilgang har vært mer likeverdig på granforyngelsen. På den andre siden er det uvisst hvor godt konkurranseindeksene jeg brukte egentlig beskriver rotkonkurranse (og det er også uvisst hvor godt konkurranseindeksene til Grassi og Giannini (2005) og Strand et al. (2006) beskriver rotkonkurranse).

Hva som er viktigst av lystilgang og rotkonkurranse for foryngelse som vokser opp under skjerm, vil nok avhenge av hvilken ressurs som er mest begrenset i det aktuelle økosystemet. I de to eksemplene mine, Strand et al. (2006) og Grassi og Giannini (2005), var skogøkosystemene ganske ulike. Strand et al. (2006) undersøkte furuskog på næringsfattig sandjord, og på næringsfattig (og trolig tørkeutsatt) jord er det ikke uventet at rotkonkurranse er den mest begrensende faktoren (jfr. Coomes og Grubb (2000)). Grassi og Giannini undersøkte derimot granskog hvor lystilgangen på bakkenivå var forholdsvis liten, <30 %. Derfor er det heller ikke overraskende at lystilgangen i deres tilfelle var mest begrensende.

Jordsmonnene på forsøksfeltene i Nord-Odal, Romedal og Tolga har alle blitt klassifisert som leirjord (de Chantal et al. 2007), så dette burde ikke være spesielt næringsfattige eller

tørkeutsatte jordsmonn. Lysmålingene som ble gjort i 2007 viste at lystilgangen varierte fra 16 % til 72 % på disse forsøksfeltene. Jeg mener det er sannsynlig at de plantene som hadde størst lystilgang ikke ble begrenset av lystilgangen, og for disse plantene vil da rotkonkurranse ha vært viktigst (den mest begrensende faktoren). De plantene som hadde den minste lystilgangen vil imidlertid ha vært begrenset av lystilgangen, og for disse har nok rotkonkurranse vært en mindre viktig faktor.

5 Konklusjoner

De lukkede hogstene (behandling H og L) skapte varierte miljøer. Ikke alle plantene som var plantet ut under skjerm opplevde egnede voksemiljøer, men man kan jo heller ikke forvente at hele arealet skal være egnet som vokseplass for foryngelse. De to hogstintensitetene H og L skapte ikke vesentlig forskjellige lys- og konkurranseforhold, og de to behandlingsalternativene hadde generelt ikke ulik effekt på foryngelsen. Variasjonen innenfor hvert av de to behandlingsalternativene ble dermed viktigere enn variasjonen mellom dem. Mangelen på forskjell mellom alternativene H og L viser at forskjellen i hogstuttak må være større enn i dette forsøket hvis man skal kunne se noen generell effekt på foryngelsens vekst og vitalitet.

Jeg mener at gjennomsnittsverdiene for tilvekst hos gran, kombinert med den forholdsvis lave mortaliteten hos gran, tyder på at det er mulig å få vellykket granforyngelse under skjerm på alle forsøksfeltene. Det store omfanget av beiteskader på furuforyngelsen på de grandominerte forsøksfeltene, hvor stående volum var størst, gjør at det er vanskelig å mene noe om hvorvidt furuforyngelse kan bli vellykket under såpass tette skjerm. Furuforyngelse under mer glissen skjerm på det furudominerte forsøksfeltet ser imidlertid ut til å ha fungert ganske godt. Det er verdt å merke seg at gran og furu hadde like stor tilvekst på dette forsøksfeltet, men mortaliteten var større hos furuforyngelsen.

Foryngelsen i gruppehogstene var større og mer vital enn foryngelsen som vokste under skjerm. Samtidig kan det tenkes at gruppehogstene innebærer økt risiko for beiteskader på foryngelsen.

Til slutt vil jeg minne om at dette forsøket ikke fulgte vanlig utplantingspraksis ved suppleringsplanting. Hvis kun åpninger av en viss størrelse hadde blitt tilplantet, er det grunn til å anta at foryngelsen generelt hadde hatt større tilvekst, og vært mer vital.

Referanser

- Balandier, P., Collet, C., Miller, J. H., Reynolds, P. E. & Zedaker, S. M. (2006). Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation. *Forestry*, 79 (1): 3-27.
- Biging, G. & Dobbertin, M. (1995). Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science*, 41 (2): 360-377.
- Chianucci, F. & Cutini, A. (2012). Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: current controversies and opportunities. *iForest*, 5: 290-295.
- Claveau, Y., Messier, C., Comeau, P. & Coates, K. D. (2002). Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and height. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 458-468.
- Coates, K. D. & Burton, P. J. (1999). Growth of planted tree seedlings in response to ambient light levels in northwestern interior cedar-hemlock forests of British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (9): 1374-1382.
- Coates, K. D., Canham, C. D. & LePage, P. T. (2009). Above-versus below-ground competitive effects and responses of a guild of temperate tree species. *Journal of Ecology*, 97 (1): 118-130.
- Coomes, D. A. & Grubb, P. J. (2000). Impacts of root competition in forests and woodlands: A theoretical framework and review of experiments. *Ecological Monographs*, 70 (2): 171-207.
- de Chantal, M., Leinonen, K., Kuuluvainen, T. & Cescatti, A. (2003). Early response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings to an experimental canopy gap in a boreal spruce forest. *Forest Ecology and Management*, 176: 321-336.
- de Chantal, M., Hanssen, K. H., Granhus, A., Bergsten, U., Löfvenius, M. O. & Grip, H. (2007). Frost-heaving damage to one-year-old *Picea abies* seedlings increases with soil horizon depth and canopy gap size. *Canadian Journal of Forest Research*, 37 (7): 1236-1243.
- Diaci, J. & Firm, D. (2011). Long-term dynamics of a mixed conifer stand in Slovenia managed with a farmer selection system. *Forest Ecology and Management*, 262 (6): 931-939.
- Edenius, L., Bergman, M., Ericsson, G. & Danell, K. (2002). The role of moose as a disturbance factor in managed boreal forests. *Silva Fennica*, 36 (1): 57-67.
- Erefur, C., Bergsten, U. & de Chantal, M. (2008). Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation. *Forest Ecology and Management*, 255: 1186-1195.
- Erefur, C., Bergsten, U., Lundmark, T. & De Chantal, M. (2011). Establishment of planted Norway spruce and Scots pine seedlings: effects of light environment, fertilisation, and orientation and distance with respect to shelter trees. *New Forests*, 41: 263-276.
- Gaudio, N., Balandier, P., Perret, S. & Ginisty, F. (2011). Growth of understorey Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) saplings in response to light in mixed temperate forest. *Forestry*, 84 (2): 187-195.

- Glommen Skogeierforening & Mjøsen Skogeierforening. (2005). Prosjekt KONTUS Sluttrapport. 32 s.
- Grassi, G. & Giannini, R. (2005). Influence of light and competition on crown and shoot morphological parameters of Norway spruce and silver fir saplings. *Annals of forest science*, 62 (3): 269-274.
- Hagner, M. (2012). Naturkultur. Upplaga 2012. *Manuskript*: 205 s. Tilgjengelig fra www.fsy.se/naturbruk, sett 12.04.2013
- Hanssen, K. H. (2007). Endringer i mikroklima ved lukkede hogster. *Forskning fra Skog og landskap* (3): 5 s.
- Hanssen, K. H., Granhus, A. & Brean, R. (2007). Vitalitet, avgang og skader på foryngelsen ved selektiv hogst. *Forskning fra Skog og landskap* (3): 6 s.
- Holgén, P. & Hånell, B. (2000). Performance of planted and naturally regenerated seedlings in *Picea abies*-dominated shelterwood stands and clearcuts in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 127: 129-138.
- Kneeshaw, D. D., Kobe, R. K., Coates, K. D. & Messier, C. (2005). Sapling size influences shade tolerance ranking among southern boreal tree species. *Journal of Ecology*, 94 (2): 471-480.
- Kobe, R. K. & Coates, K. D. (1997). Models of sapling mortality as a function of growth to characterize interspecific variation in shade tolerance of eight tree species of northwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 27 (2): 227-236.
- Langvall, O. & Ottosson Löfvenius, M. (2002). Effect of shelterwood density on nocturnal near-ground temperature, frost injury risk and budburst date of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, 168 (1-3): 149-161.
- Lieffers, V., Messier, C., Stadt, K., Gendron, F. & Comeau, P. (1999). Predicting and managing light in the understory of boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (6): 796-811.
- Lin, C. J., Laiho, O. & Lähde, E. (2012). Norway spruce (*Picea abies* L.) regeneration and growth of understory trees under single-tree selection silviculture in Finland. *European Journal of Forest Research*, 131: 683-691.
- Lochhead, K. D. & Comeau, P. G. (2012). Relationships between forest structure, understorey light and regeneration in complex Douglas-fir dominated stands in south-eastern British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 284: 12-22.
- Long, J. N., Dean, T. J. & Roberts, S. D. (2004). Linkages between silviculture and ecology: examination of several important conceptual models. *Forest Ecology and Management*, 200: 249-261.
- Lundqvist, L., Cedergrén, J. & Eliasson, L. (2009). Blådningsbruk. *Skogskötselserien nr. 11*: 55 s.
- Machado, J.-L., Walters, M. B. & Reich, P. B. (2003). Below-ground resources limit seedling growth in forest understories but do not alter biomass distribution. *Annals of forest science*, 60 (4): 319-330.

- Mason, W. L., Edwards, C. & Hale, S. E. (2004). Survival and early seedling growth of conifers with different shade tolerance in a Sitka spruce spacing trial and relationship to understorey light climate. *Silva Fennica*, 38 (4): 357-370.
- Messier, C., Doucet, R., Ruel, J. C., Claveau, Y., Kelly, C. & Lechowicz, M. J. (1999). Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (6): 812-823.
- Nordlander, G., Bylund, H., Örlander, G. & Wallertz, K. (2003). Pine weevil population density and damage to coniferous seedlings in a regeneration area with and without shelterwood. *Scandinavian journal of forest research*, 18 (5): 438-448.
- Ricard, J.-P., Messier, C., Delagrange, S. & Beaudet, M. (2003). Do understory sapling respond to both light and below-ground competition?: a field experiment in a north-eastern American hardwood forest and a literature review. *Annals of forest science*, 60: 749-756.
- Rich, P. M. (1990). Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews*, 5: 13-29.
- Rådet for Levende skog. (2006). Levende Skog. Standard for et bærekraftig norsk skogbruk. 40 s.
- Stancioiu, P. & O'Hara, K. (2006). Regeneration growth in different light environments of mixed species, multiaged, mountainous forests of Romania. *European Journal of Forest Research*, 125 (2): 151-162.
- Sterba, H. (2004). Equilibrium curves and growth models to deal with forests in transition to uneven-aged structure - application in two sample stands. *Silva Fennica*, 38 (4): 413-423.
- Strand, M., Löfvenius, M. O., Bergsten, U., Lundmark, T. & Rosvall, O. (2006). Height growth of planted conifer seedlings in relation to solar radiation and position in Scots pine shelterwood. *Forest ecology and management*, 224 (3): 258-265.
- Valladares, F. & Niinemets, Ü. (2008). Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39 (1): 237-257.
- Wright, E. F., Coates, K. D., Canham, C. D. & Bartemucci, P. (1998). Species variability in growth response to light across climatic regions in northwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 28 (6): 871-886.
- Örlander, G. & Karlsson, C. (2000). Influence of shelterwood density on survival and height increment of *Picea abies* advance growth. *Scandinavian journal of forest research*, 15 (1): 20-29.