

Toppkapping i ungskogpleie av gran: Vekstreaksjoner på kappede trær

Topping in tending of young spruce stands: Growth reactions of topped trees

Fredrik Bøhler

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2006



Forord

Gjennom jobb hos Løvenskiold-Vækerø har jeg selv fått praktisk erfaring i ungskogpleie med toppkappingsmetoden under opplæring og samarbeid med tidligere ansatt i LV, Jørn Moss. Erfaringer herfra og bakgrunn i skogskjøtsel fra UMB har gitt interesse for skjøtselsmessige problemstillinger ved denne metoden.

Jeg skylder først og fremst en takk til veiledere, Andreas Brunner ved INA, UMB og Bernt-Håvard Øyen ved Skogforsk for hjelp, støtte og gode råd under veis. Skogforsk har dessuten dekket økonomiske utgifter. Både Jørn Moss og administrasjonen i Løvenskiold-Vækerø, Divisjon skog ved Jostein Andersen og Øyvind Foss, har vært svært behjelpelige med å søke fram aktuelle studieområder og med utlån av bomnøkler.

Sammendrag

Målet med denne feltstudien var å studere veksten hos toppkappede trær (objekttrær, sekundærstammer eller bistammer) etter en regulering med toppkappingsmetoden i rent granbestand. Problemstillingen gikk ut på å vurdere risikoen for at de fristilte trærne (subjekttrær, primærstammer eller hovedstammer) blir innhentet av de toppkappede trærne og hvilke faktorer som kunne påvirke denne risikoen samt vekstforløpet hos toppkappede trær.

Studieområdene består av tre bestand i Nordmarka på Løvenskold-Vækerøs eiendom. Bestandenens totalalder ved oppmåling var mellom 16 og 22 år og treslagssammensetningen var mellom 80 % og 95 % gran og resten lauv. Alle tre bestandene ble behandlet med toppkappingsmetoden i 2001, altså 4 vekstsesonger før oppmåling. Totalt 49 prøveflater med et fristilt tre i sentrum ble plassert i de tre bestandene. Høyde og horisontal plassering ble målt på alle trær innenfor 3 m radius samt kappehøyde, toppskuddlengder og høyde før inngrep hos toppkappede trær og toppskuddlengder siste 10 år hos sentrumstre.

Toppskuddlengden første året etter behandling hos toppkappede trær var signifikant kortere enn seinere års toppskuddlengder. Når høydeøkningen ved at en av de øverste greinene retter seg oppover legges sammen med toppskuddlengden første året, blir total høydeøkning første året signifikant høyere enn seinere års toppskuddlengder. Dette tyder på at omstillingen til at en grein overtar apikaldominansen gir en forsinkelse i høydevekst (toppskuddlengde) første året. Denne forsinkelsen blir imidlertid mer enn kompensert for ved at greina som gir opphav til det nye toppskuddet retter seg oppover slik at total høydeøkning første året er større enn årlig vekst de påfølgende årene.

De variablene som best forklarte høydevekst i form av toppskuddlengder etter behandling hos det toppkappede treet, var (1) konkurranseindeks beregnet ut fra kappehøyde, avstand til nabotrær og deres høyde (negativ effekt), (2) bonitet på prøveflatenivå beregnet ut fra sentrumstreet (positiv effekt), (3) inngrepsintensitet målt som høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde ved behandlingstidspunkt (negativ effekt) og (4) høyde før inngrep i forhold til sentrumtreets høyde ved behandlingstidspunkt (positiv effekt).

De variablene som best forklarte oppretting av grein var (1) høyde før inngrep (positiv effekt), (2) høyde før inngrep i forhold til sentrumtreets høyde ved behandlingstidspunkt (positiv effekt), (3) konkurranseindeks som beskrevet eller som antall nabotrær innenfor 1m (negativ effekt), (4) inngrepsintensitet (positiv effekt). Disse variablene forklarer sannsynligvis først og fremst lengden på øverste grein under kappepunktet og gir på den måten en indirekte forklaring på høydeøkning ved opprettinga av grein.

Etter 4 år hadde ett av totalt 49 sentrumstrær blitt forbivokst av et toppkappet nabotree. En lineær ekstrapolering av høydene framover i tid antydde at 7 av sentrumstrærne ville bli forbivokst innen 15 år etter behandlingen. Over halvparten (53 %) av sentrumstrærne hadde hatt en mindre høydeøkning enn det høyeste toppkappede nabotreet etter 4 år slik at høydeforspranget hadde minnet. Andelen av sentrumstrærne hvor høydeforspranget hadde minnet, var i følge ekstrapoleringen noe lavere 10 år etter behandling (45 %) og 15 år etter behandling (41 %). I hvilken grad høydeforspranget var redusert av de toppkappede trærne var særlig avhengig av inngrepsintensitet, konkurranseindeks og det toppkappede treets relative høyde før inngrepet. Inngrepsintensitet vil si høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde ved behandlingstidspunkt. I tillegg til at en større høydeforskjell tar lengre tid for det toppkappede treet å evt. ta igjen kommer effekten av at større høydeforskjell gir seinere vekst hos det toppkappede treet. I følge ekstrapoleringen kunne fristilte trær risikere å bli forbivokst selv når det ble gitt et høydeforsprang på 2 m. Dette betyr at metoden bør modifiseres ved bruk i gran i forhold til de anbefalinger som er gitt for metoden i bjørk og Furu. For å oppnå et tilstrekkelig høydeforsprang bør bestanden antageligvis være høyere enn 4 m. Resultatene tyder også på at risikoen for at de toppkappede trærne innhenter de fristilte trærne er mindre om man velger en liten grad av nedtopping eller nivellering i reguleringen. Det vil si å i størst mulig grad fristille de dominerende og medherskende trærne i reguleringen. Dette er ikke bare fordi det gir et større høydeforsprang, men også fordi en lavere sosial status for det toppkappede treet før inngrepet ser ut til å gi en lavere vekst.

Formålet med toppkapping er å kunstig framskynde og styre en spredningsprosess i bestanden. Sammenhengen mellom høydevekst og konkurranse fra nabotrær tyder på at en slags spredningsprosess er gjeldende. Sannsynligvis vil risikoen for at de toppkappede trærne innhenter de fristilte trærne være mindre om man utfører toppkappingen på et seinere stadium i bestandsutviklingen enn det som er vanlig ved tradisjonell ungsogpleie.

Innhold

FORORD	1
SAMMENDRAG.....	2
INNHold	4
1 INNLEDNING.....	5
1.1 BAKGRUNN FOR TOPPKAPPINGSMETODEN	5
1.2 TOPPKAPPING I GRAN	6
1.3 UNDERSØKELSENS MÅL OG HYPOTESER.....	8
2 MATERIALE OG METODE.....	10
2.1 STUDIEOMRÅDE	10
2.2 PRØVEFLATER.....	11
2.3 ANALYSER	13
2.3.1 Lokaltetsindeks og bonitet.....	14
2.3.2 Høydeforhold før inngrep.....	15
2.3.3 Inngrepsintensitet	15
2.3.4 Konkurransen fra nabotrær.....	16
2.3.4.1 Korrigering av konkurranseindeksen for plassering i prøveflaten.....	19
2.3.4.2 Tilpassing av konkurranseindeks	21
2.3.4.3 Alternativ konkurranseindeks	21
2.3.5 Høydeutvikling hos toppkappede trær etter behandling.....	22
2.3.6 Framtidig utvikling av høydeforhold.....	23
3 RESULTATER	25
3.1 GENERELLE RESULTATER	25
3.2 VEKST HOS TOPPKAPPEDE TRÆR FRAM TIL 2005.....	26
3.3 VEKST HOS SENTRUMSTRÆR FRAM TIL 2005.....	28
3.4 FORKLARING AV TOPPSKUDDLENGDENE HOS TOPPKAPPEDE TRÆR	30
3.5 FORKLARING AV OPPRETNING AV GREIN	35
3.6 VEKST HOS TOPPKAPPET TRE I FORHOLD TIL SENTRUMSTRE	39
4 DISKUSJON.....	44
4.1 VEKSTFORLØP HOS TOPPKAPPEDE TRÆR.....	44
4.2 VEKSTFORLØP HOS SENTRUMSTRÆR.....	45
4.3 FORKLARING AV HØYDEVEKST HOS TOPPKAPPEDE TRÆR	47
4.3.1 Konkurransen	47
4.3.2 Toppskudd	48
4.3.3 Oppretting av grein	49
4.4 VEKST HOS TOPPKAPPET TRE I FORHOLD TIL SENTRUMSTRE	50
4.4.1 Sammenligning av vekst	50
4.4.2 Inngrepsintensitet	51
4.4.3 Bestandsutvikling	52
4.5 KONKLUSJONER.....	53
5 LITTERATUR.....	55

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for toppkappingsmetoden

Den økonomiske nytten av ungskogpleie består i å få bestandet til å utvikle seg optimalt ved å gripe inn og styre konkurransen og hindre at bestandet påføres skader som reduserer verdiproduksjonen. På den måten vil rett antall av trærne med best kvalitets og produksjonspotensial bli satt i en bedre konkurransesituasjon og utvikle seg slik at verdien av framtidsbestandet blir best mulig (Braastad & Pettersen 1994, Haveraaen 1992). Ungskogpleie kan ha avgjørende betydning for framtidig vekst og kvalitet i et bestand (Pettersson 1993). Tradisjonelt har målet med ungskogpleien vært å etterstrebe en rimelig jevn horisontal fordeling og jevn trehøyde i bestandet der trærne med best produksjons- og kvalitetspotensial av rett treslag står igjen etter behandling.

Ubehandla ungskogbestand kan være svært forskjellige med tanke på tetthet, treslagssammensetning, vekst, alderssammensetning, høydespredning og horisontal fordeling. Likevel er metodene som brukes i ungskogpleien svært like på nesten alle slags arealer. Motormanuell rydding og avstandsregulering ved bruk av motorryddesag der et vist antall framtidstrær spares og konkurrenter kappes rett over bakkenivå, har lenge vært og er fortsatt den vanlige metoden i Norge. I tillegg kan det nevnes at en god del av ungskogpleien i skogreisningsstrøka blir utført med motorsag. Metoden med motorryddesag er imidlertid ikke uten ulemper, for eksempel ved at den er kostbar og gir tungt arbeid med mye støy for operatøren. Dessuten kan den ha uheldige effekter på kvalitetsutviklingen hos de gjenstående trærne ved en uheldig kvistutvikling (Braastad & Tveite 2000).

I et ubehandla ungskogbestand vil det alltid være en hvis variasjon i høyden. Etter hvert som bestandet sluttes, vil konkurransen fra nabotrærne gjøre at høydeforskjellene i bestandet økes fordi større dominerende trær utsettes for lite konkurranse mens mindre trær blir undertrykket og veksten hemmes. Denne prosessen som gjør at høydeforskjellene i bestandet øker og antall dominerende og medherskende trær synker naturlig med bestandsutviklingen, kalles høydespredning (Børset 1985). Selvtynning er den prosessen som gjør at de undertrykte trærne etter hvert dør slik at treantallet reduseres gradvis, naturlig. De ulike treslagene har ulik spredningsevne og gran (*Picea abies*) blir ofte nevnt som eksempel på treslag med relativt liten spredningsevne (Børset 1985).

Med denne bakgrunnen er det blitt utprøvd en alternativ metode i ungskogpleien som går ut på å kappe konkurrentene bare et stykke under toppen. Målet med toppkapping er å påskynde og styre denne spredings- og selvtynningsprosessen ved å gi de utvalgte framtidsstammene et

høydeforsprang uten å fjerne konkurrentene helt (Karlsson & Albrektson 2000b). På denne måten skal trærne vi ikke ønsker å ha med i framtidsbestandet, bli satt i en dårligere konkurransesituasjon slik at de blir undertrykket og sakker etter i veksten. Trærne vi ønsker å beholde, blir satt i en bedre konkurransesituasjon og vil formodentlig danne et ønsket framtidsbestand.

I Sverige har metoden toppkapping vært utprøvd i større grad enn i Norge. Metoden har vært testet på bjørk (*Betula pendula* og *B. pubescens*) og furu (*Pinus sylvestris*). Hensikten med toppkapping har da vært å forsøke å oppnå bedre kvalitet på framtidstrærne (subjekttrærne) ved bedre stammeform, mindre kvisttykkelse, bedre oppkvisting, færre dobbeltopper og dessuten redusere beiteskader ved at viltet beiter på toppkappede trær (objekttrær) i stedet for subjekttrærne (Ligné 2004, Karlsson & Albrektson 2000b). Fällmann et al. (2003) viste at toppkapping kunne ha en positiv effekt på disse kvalitetsegenskapene hos bjørk. Karlsson & Albrektson (2000b) mener også at ved toppkapping er det mulig å utvikle teknikker som er mer tidseffektive. Begrunnelsene de gir for dette er bedre sikt og mindre diametre ved en kappehøyde høyere over bakken. Ligné (2004) skriver at en viktig forutsenning for at en slik metode skal være økonomisk og skjøtselsmessig forsvarlig er at de toppkappede trærne blir undertrykt og etter hvert dør slik at de ikke tar igjen subjekttrærne og gjenopptar konkurransen eller er i veien ved første tynning slik at driftskostnadene økes. Hans studiemateriale omfatter kun bjørk, men man kan gå ut ifra at de samme forutsetningene vil gjelde for metoden i granbestand. Han spekulerer i at et skyggetålende treslag som gran vil ha høy toleranse for toppkapping og at metoden derfor ikke vil være så godt egnet i granbestand. Fällman et al. (2003) konkluderte med at subjekttrærne i bjørkebestand ikke sto i fare for å bli forbivokst når objekttrærne ble kappet mer enn 60 cm lavere enn toppen til subjekttrærne. Karlsson & Albrektson (2000b) antyder at det sannsynligvis er nødvendig med en noe større høydeforskjell ved behandling av furubestand. Michold (1991) anbefaler en høydeforskjell mindre enn 1,5 m, men spesifiserer ingen minimum høydeforskjell for å unngå at subjekttrærne blir forbivokst. Et viktig spørsmål i vurderingen av toppkapping som metode i avstandsregulering i gran er derfor hvordan de toppkappede trærne vokser i forhold til trærne som blir fristilt.

1.2 Toppkapping i gran

Metoden har vært lite utprøvd i granbestand, men på skogeiendommen til Løvenskiold Vækerø A/S i Nordmarka, er toppkapping også gjort i ungskog med gran. Her lå forvaltningen på etterskudd med ungskogpleien rundt år 2000. Firmaet var derfor villige til å prøve ut nye metoder som gjorde at de på en mer kostnadseffektiv måte kunne behandle mye areal og samtidig få fristilt de trærne det var hensiktsmessig å fristille. Jørn Moss som den gang var fast ansatt i Løvenskiold-Vækerø,

begynte i 2000 -01 å utføre ungskogpleie med håndredskaper som ryddeøks, ryddekniv og ryddesaks. Framtidstrærne ble fristilt ved å toppkappe truende konkurrenter. Kappehøyden var stort sett i behagelig arbeidshøyde (rundt brysthøyde), men ble også noe tilpasset høyden på treet som skulle fristilles. Naboetrær som etter subjektiv vurdering ikke utgjorde noen trussel mot framtidstreet fordi de var lave, ble forbigått. Det foreligger ingen instruks eller tallfestede kriterier for hvilke trær som skulle få stå og hvilke som skulle kappes og evt. i hvilken høyde eller eventuell nivellering av bestandet fordi dette ikke ble anlagt som noe vitenskaplig forsøk.

Erfaringen fra Løvenskiold-Vækerø er at toppkapping kan være en svært effektiv metode sammenlignet med tradisjonell rydding med motorryddesag, med tanke på tidsforbruk per areal. Særlig i heterogene bestand og i vanskelig terreng og ved ikke alt for høy tetthet, antydes det at denne metoden kunne bruke mye mindre tid enn tradisjonell motormanuell rydding på samme areal. Det må presiseres at det ikke er foretatt noen tidsstudier som kan underbygge denne påstanden.

De siste 5 årene er totalt ca 3000 daa ungskog regulert på Løvenskiolds eiendom. Cirka 70 % av dette arealet er regulert ved toppkapping. Dette er både rene granbestand og blandingsbestand med gran og lauv. Metoden har blitt utført på både høye og lave boniteter på eiendommen. Forhold som gjør at de vil prioritere denne metoden i et gitt bestand er ujevn og glissen tetthet, stor avstand fra vei eller ulent terreng. Bruk av lette håndredskap gjør at det er lettere å bevege seg i terrenget sammenlignet med bruk av motorryddesag.

De to viktigste grunnene til at forvaltningen i Løvenskiold-Vækerø har valgt å bruke denne metoden, er for det første forventninger om lavere kostnader og for det andre bedre arbeidsmiljø (Andersen pers. med. 2006). Forventningene om lavere kostnader er begrunnet i at metoden antageligvis bruker mindre tid per arealenhet i forhold til bruk av motorryddesag. Bedre arbeidsmiljø begrunnes med at operatøren slipper motorstøy, vibrasjoner og eksos fordi redskapet som brukes er lette håndredskap. Uten tungt redskap og verneutstyr blir man dessuten mer bevegelig og det er lettere å holde oversikten i bestandet (Moss 2005). Når man rydder på tradisjonell måte med ryddesag er fokuset i stor grad ned mot bakken; mot sagbladet, trærne som skal fjernes og hovedstammene som ikke skal skades og forbandet mellom hovedstammene. Med toppkappingsmetoden har man mer fokus oppover mot kronene (Andersen pers. med. 2006). Dette er et godt utgangspunkt for å velge ut framtidstrær i mindre grad ut ifra forband og i større grad ut ifra kvalitet og produksjon. Slåttå (1978) og Brantseg (1962) gir flere argumenter for at det kan lønne seg å akseptere en noe ujevn horisontal fordeling til fordel for trær med trær med bedre kvalitets- og produksjonspotensial. Selv om toppkappingsmetoden også kan være fysisk krevende, er det i alle fall en god avveksling fra tradisjonell ungskogpleie for operatøren. En ulempe i forhold

til arbeidsmiljø som Moss (2004) nevner er at man i større grad arbeider i ”nærkontakt med vegetasjonen” og at man ikke har den samme muligheten til å ”skjære” seg vei gjennom tett kratt som ved bruk av motorryddesag.

Andre fordeler Andersen (pers. medd. 2006) trekker fram er forventninger om bedre kvalitet på grunn av større oppkvisting og mindre andel ungdomsved. Det må presiseres at det ikke er gjort noen studie på om denne metoden gir bedre kvalitet hos gran. Metoden innebærer som nevnt at mange små, indifferente trær får stå uten å toppkappes. Disse vil kunne fungere som ”reservetrær” eller rekrutter hvis hovedstammene skulle skades eller dø (Hagner 2004). Dette kan også gi større valgfrihet av hogstform ved slutthogst (Hagner 2004, Moss 2004). Andersen (pers. med. 2006) nevner som grunn til å bruke metoden at toppkapping i blandingsbestand ivaretar variasjonen i treslag over en lengre del av omløpet, hvilket er gunstig for viltet.

Andersen (pers. med. 2006) uttrykker usikkerhet knyttet til framtidig vekst og overlevelse hos toppkappede trær. Et vist behov for forhåndsrydding må sannsynligvis regnes med ved tynningsinngrep (Moss 2005), men det er en forutsetning for at metoden skal være hensiktsmessig at risikoen for at de toppkappede trærne innhenter de fristilte trærne, er lav. Moss (2004) skriver om reine granbestand at: ”Erfaringene jeg hittil har gjort er at her må det toppes hardere enn jeg først antok”. Å ”toppe hardere” betyr her å gi et større høydeforsprang på konkurrerende nabotrær ved toppkapping og formålet med det er å unngå overvekst. Med overvekst menes her at de toppkappede nabotrærne innhenter det fristilte treet. Hvor stort høydeforsprang det er nødvendig å gi de fristilte trærne for å unngå overvekst er avgjørende for utformingen av metoden og for effektiviteten. Dette høydeforspranget vil også bli referert til som inngrepsintensitet. Hvis det er nødvendig med stor inngrepsintensitet, blir metoden mindre effektiv fordi det betyr at flere trær må kappes og at de må kappes lengre nede der diameteren er større.

Det foreligger ingen ferdige resultater fra studier på toppkapping i granbestand så vidt jeg har klart å oppdrive ved litteratursøk på internasjonale søkedatabaser. Skogforsk startet i 2005 et prosjekt på toppkapping i granbestand. Dette prosjektet går først og fremst ut på å anlegge langsiktig feltforsøk med permanente prøveflater i ungskog med gran på Løvenskiolds eiendom i Nordmarka. To forsøk ble etablert i 2005 og behandlingsalternativene er toppkapping, tradisjonell ungskogpleie og urørt. Disse vil bli fulgt opp slik at man kan få et sikrere grunnlag for å vurdere kvalitetsutviklingen.

1.3 Undersøkelsens mål og hypoteser

Denne oppgaven er en feltstudie som tar for seg ungskogbestand av gran behandlet med toppkappingsmetoden 4 år før oppmåling, og arbeidet er utført på Løvenskiolds eiendom. Fordi

metoden er ny i bruk har det dessverre vært et begrenset antall bestand til rådighet. Målet med dette feltstudiet er å studere veksten hos de toppkappede grantrærne og hvilke faktorer som kan påvirke risikoen for overvekst.

Først og fremst er problemstillingen her hvordan høyden hos de toppkappede trærne har utviklet seg i forhold til de fristilte trærne etter behandling og fram til måletidspunkt. Et interessant spørsmål i den forbindelse er om det toppkappede treet blir forsinket i høydeveksten det/de første år/årene etter behandling som en følge av omstillingen til et nytt toppskudd etter at toppen ble fjernet. Fordi bare fire år sannsynligvis er et for kort tidsperspektiv for å vurdere andel overvekst, vil det bli forsøkt å gjøre en framskriving noen år framover av høydeforholdet mellom toppkappede og fristilte trær ved en ekstrapolering av veksten de siste årene.

Det vil også bli undersøkt hvilke faktorer som påvirker veksten hos de toppkappede trærne. Ved inngrepet har man muligheten til å påvirke høydeforskjell mellom fristilt tre og kappehøyde. Effekten av denne høydeforskjellen på veksten vil bli studert. Denne høydeforskjellen beskriver forholdet mellom det enkelte toppkappede tre og fristilte tre, men konkurransesituasjonen for det toppkappede treet vil også bli bestemt av høyden hos andre nabotrær og avstanden til dem. For å få et bedre bilde av effekten av konkurranse på høydeveksten hos det toppkappede treet, vil konkurransesituasjonen bli forsøkt beskrevet som en funksjon av antall nabotrær, avstand til disse og deres høyde. Det kan også tenkes at treets høyde og sosiale status før inngrepet har effekt på veksten. Hvis toppkappede trær som var dominerende før inngrepet har en raskere vekst enn trær som var mer undertrykt, kan det bety at metoden ikke er godt egnet hvis man ønsker å eliminere de dominerende trærne i ungskogen fra framtidsbestandet. Derfor vil effekten av det toppkappede treets sosiale status før inngrepet også bli undersøkt. For å redusere noe av variasjonen som kommer av bonitetsforskjeller mellom og innad i bestand, vil en indeks for bonitet bli inkludert som forklaringsvariabel.

Hypotesene som vil bli testet her er:

H₁: Toppkappede trær har lavere høydevekst enn fristilte trær

H₂: Omstillingen etter toppkapping til at en grein tar over apikaldominansen gjør at det tar en minst en vekstsesong før det toppkappede treet gjenopptar normal høydevekst.

H₃: Konkurranse fra nabotrær påvirker høydevekst hos toppkappede trær.

H₄: Inngrepsintensitet (høydeforskjell mellom kappehøyde og høyde hos fristilt tre) påvirker høydevekst hos toppkappede trær.

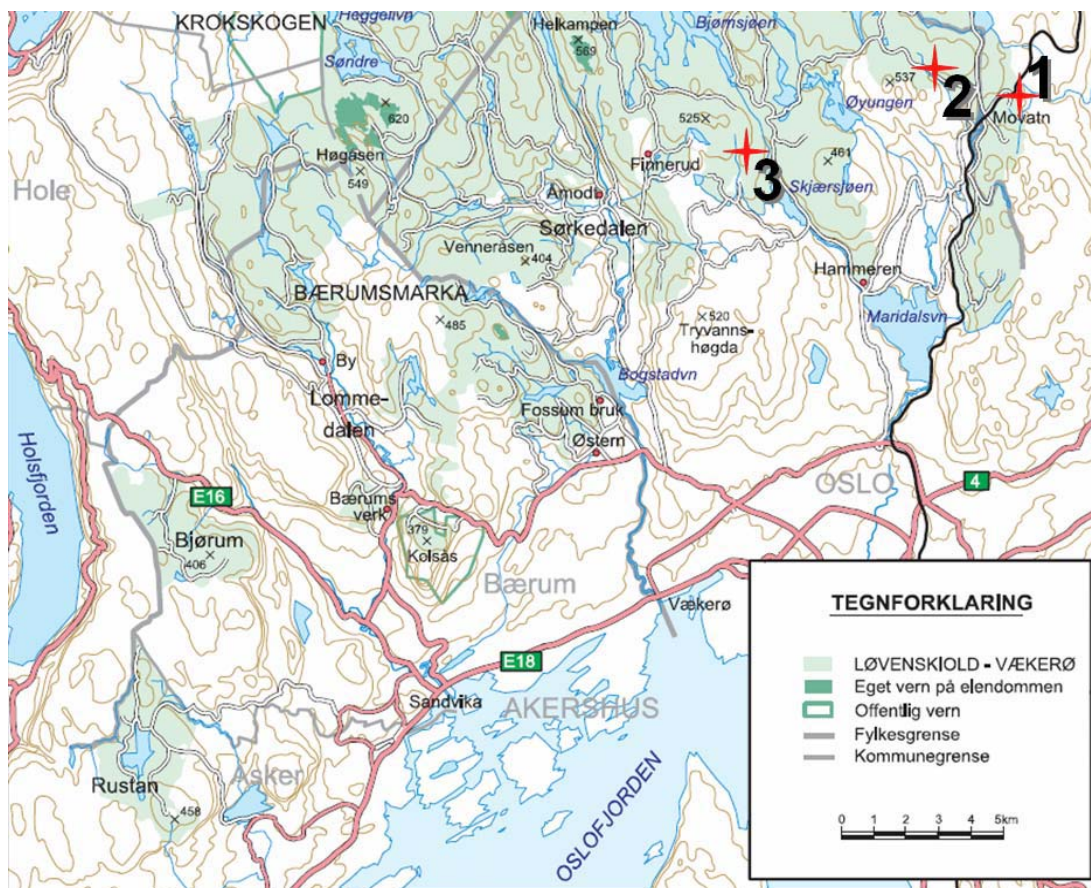
H₅: Økt inngrepsintensitet gir redusert risiko for overvekst

H₆: Høyde og sosial status før inngrep påvirker høydevekst hos toppkappede trær.

2 Materiale og metode

2.1 Studieområde

Studieområdene i denne oppgaven er på Løvenskiold Vækerøs eiendom i Nordmarka, Oslo kommune (59°70'N, 10°50'E). Basert på samtaler med skogbruksansvarlig i Løvenskiold-Vækerø og med veiledere ble det besluttet å gjøre en retrospektiv studie av utvalgte toppkappede granbestand. Vi foretok et subjektivt utvalg av tre ungskogbestand (Figur 1) hvor metoden toppkapping har vært gjennomført i 2001. Det var også et kriterium at gran skulle være det dominerende treslaget og at tettheten var såpass høy at inngrepet ikke bare utgjorde få, spredte toppkappinger. Etter en god del befaring og leting ble det dessverre ikke funnet brukbare felter behandlet før 2001 og heller ikke flere enn disse tre bestandene fra 2001. Figur 1 viser geografisk plassering av bestand 1, 2 og 3.



Figur 1. Oversiktskart over studieområdene

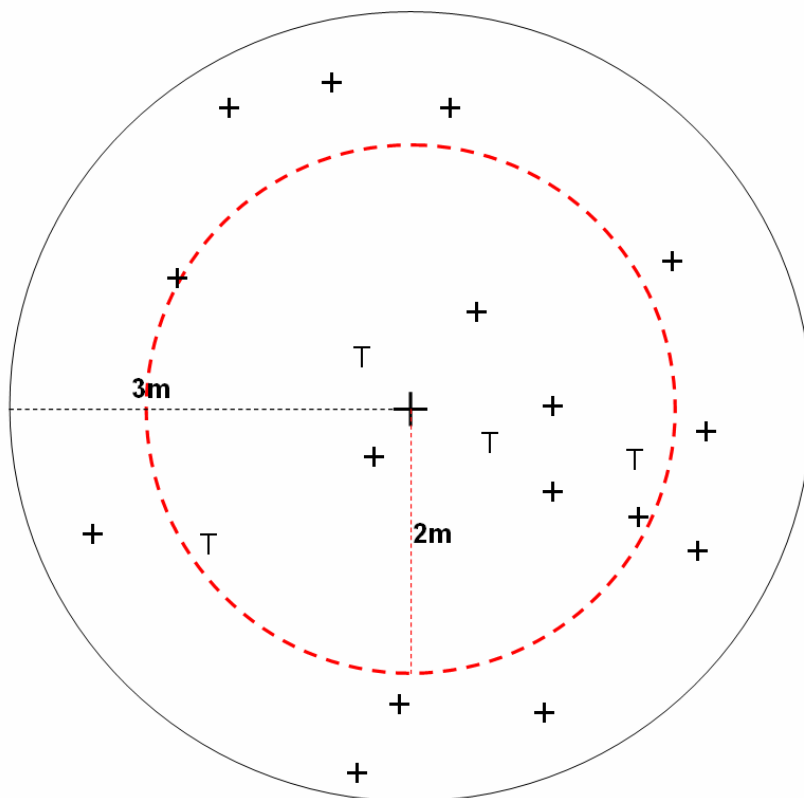
Kartet viser beliggenhet til bestand 1, 2 og 3 som utgjør studieområdene.

Treslagssammensetningen i bestandene bestod av hovedsakelig gran og noe bjørk (5 – 20 %). Vegetasjonstypen var blåbærgranskog i alle bestandene. I følge skogbruksplanen var boniteten

G14 i alle bestand og alderen (antall år siden planting ved oppmåling i 2005) var 16 år i bestand 1 og 2 og 22 år i bestand 3.

2.2 Prøveflater

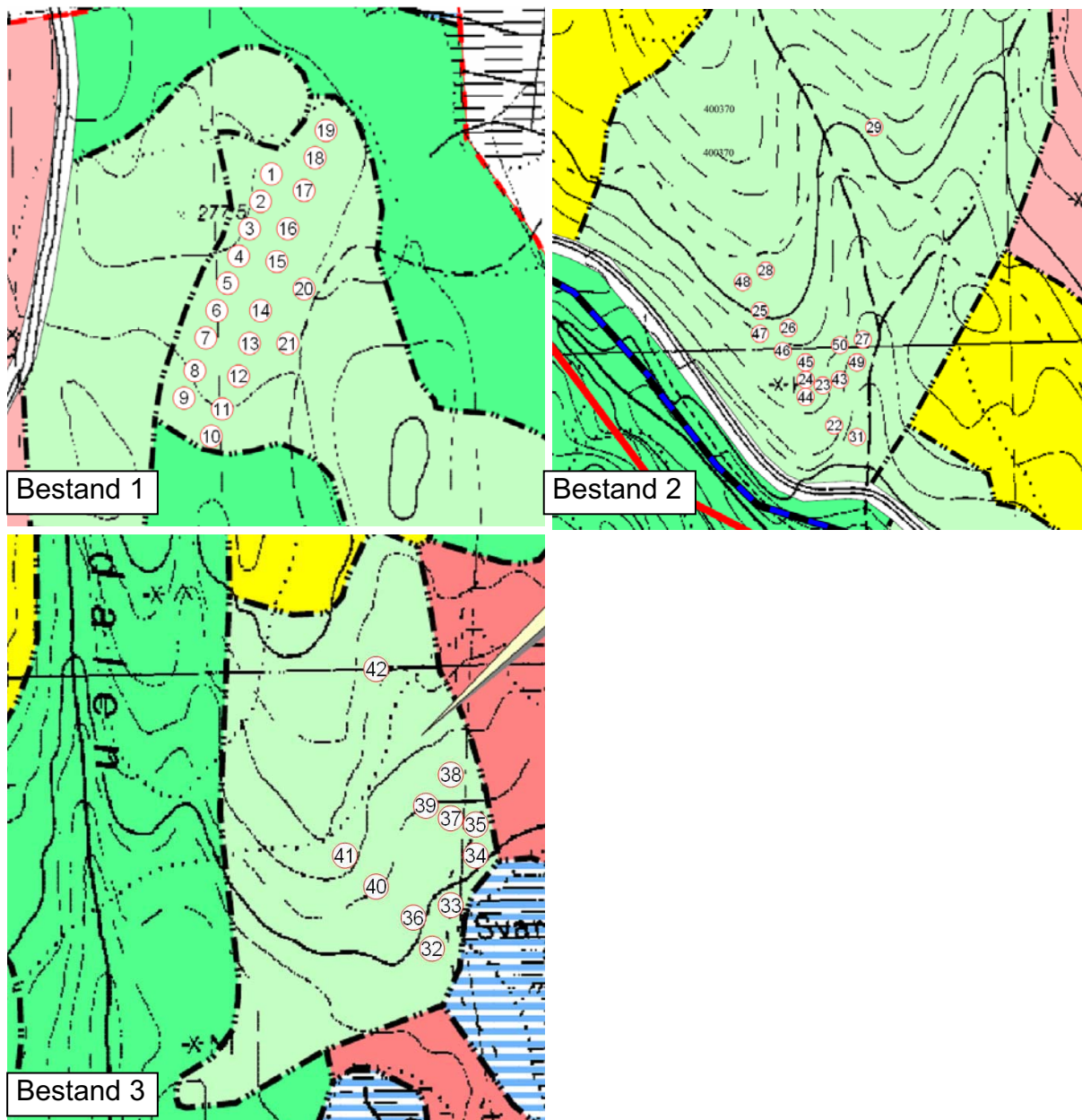
I hvert bestand ble det lagt ut prøveflater (Figur 2) etter et modifisert linjetakseringssystem. Et framtidstre som er fristilt ved toppkapping dannet sentrum i hver prøveflate. Dette treet blir heretter referert til som sentrumstre. På sentrumstreet ble det målt høyde og toppskuddlengder siste 10 år. Innenfor en radius på 2 m ble det gjort følgende målinger på toppkappede grantrær: avstand og kompassretning fra sentrumstre, høyde, kappehøyde, toppskuddlengder etter inngrep (høydevekst i 2005, -04, -03 og -02) og høyde før inngrepet ved å måle lengden på avkappet topp. Innenfor en radius på 3 m ble det målt avstand, kompassretning, høyde og treslag for alle trær høyere enn 1,3 m for å kunne beregne konkurranseindekser for de enkelte toppkappede trærne. Trær under 1,3 m ble inkludert i telling av totalt antall trær pr. prøveflate (3 m radius). For målingene ble det benyttet en 5 m teleskopstang, målebånd og kompass.



Figur 2. Utforming av prøveflatene.

Innenfor radius 3m (svart sirkel) rundt sentrumstreet som er markert med stort kryss, ble det målt avstand, retning, høyde og treslag på alle trær. Innenfor en radius av 2m (rød sirkel) rundt sentrumstreet ble det i tillegg gjort følgende målinger på alle toppkappede trær (T): toppskuddlengder siste fire år, kappehøyde og høyde før inngrep.

Prøveflatene ble lagt ut langs rette, parallelle linjer ved å følge en kompasskurs. I bestand 1 ble hvert 5. framtidstre som var fristilt ved toppkapping, plukket ut til å være sentrumstre i en prøveflate. I bestand 2 og 3 ble hvert 2. framtidstre som var fristilt ved toppkapping plukket ut til å være sentrumstre så sant det ikke ble overlapping mellom prøveflatene. Grunnen til at det ble brukt forskjellig opplegg var at tettheten var høyere i bestand 1. I bestand 2 ble det seinere supplert med ytterligere 8 prøveflater for å øke grunnlagsmaterialet. De siste 8 prøveflatene ble plassert mellom linjene som de første 9 prøveflatene her var plassert på. Totalt er 49 prøveflater inkludert i studiet hvorav 21 i bestand 1, 17 i bestand 2 og 11 i bestand 3. Figur 3 viser kart over bestand 1, 2 og 3 og plasseringen av prøveflatene. Bare deler av bestandene var behandlet. Derfor var ikke prøveflatene fordelt utover hele bestandet. I bestand 2 og 3 var det gjort et ganske lett inngrep og fristilte trær stod spredt. Derfor var også prøveflatene ujevnt fordelt og ikke i et tydelig linjemønster som i bestand 1 hvor utgangstettheten var stedvis ekstremt høy og flere trær var kappet.



Figur 3. Plasseringen av prøveflatene i bestandene.

De røde ringene er prøveflatene med prøveflatenummer. Fyllfargen i bestandene indikerer hogstklassene: I (gul), II (lysegrønn), III (mørkegrønn), IV (rosa) og V (brun). Prøveflatene var ikke jevnt fordelt i bestandene fordi bare deler av bestandene var behandlet og fristilte trær var spredt og ujevnt fordelt.

2.3 Analyser

Statistiske analyser ble gjort i SAS V8 (SAS institute 2005) som er et kommandobasert statistikkprogram.

Først ble den målte høydeutviklingen hos toppkappede trær og sentrumstrær fram til 2005 beskrevet. Eventuelle lengdeforskjeller mellom toppskuddene i år 1, 2, 3 og 4 etter toppkapping

ble analysert med en Bonferroni t-test. På samme måte ble toppskuddlengdene siste 10 år hos sentrumstrærne analysert for å undersøke hvordan det ville være mest hensiktsmessig å ekstrapolere veksten framover.

For å forsøke å forklare variasjonen i veksten hos de toppkappede trærne ble det brukt variabler for produksjonsevne (lokalitetsindeks og bonitet), høydeforhold før inngrep, inngrepsintensitet og konkurranse fra nabotrær. Disse variablene er beskrevet nærmere under. Modeller som inkluderte ulike kombinasjoner av forklaringsvariablene, ble sammenlignet ved bruk av multippel regresjonsanalyse.

Vekst hos sentrumstrærne og deres toppkappede nabotrær fram til måletidspunkt ble sammenlignet. Til slutt ble framtidige høyder for toppkappede trær og sentrumstrær ekstrapolert på grunnlag av resultatene fra analysen av vekstforløpet hos disse to gruppene.

2.3.1 Lokalitetsindeks og bonitet

For å forsøke å forklare variasjonen i bonitet mellom prøveflatene innad i hvert bestand, ble bonitet eller lokalitetsindeks (produksjonsevne) angitt på prøveflatenivå. Datamaterialet inneholder toppskuddlengder siste 10 år hos sentrumstreet på hver prøveflate. Et gjennomsnitt av disse 10 toppskuddlengdene blir heretter kalt I_{hS10} uttrykt i cm/år. Dette ble brukt som et mål på lokalitetsindeks for den enkelte prøveflate selv om det vil være noen problemer med dette. En alderseffekt vil ha kunnet virke inn på denne verdien fordi granas høydevekst er sigmoid (Strand 1968) og veksten i denne 10 års perioden sannsynligvis var noe stigende i mange tilfeller. Det vil også kunne ha vært en utvalgseffekt på denne verdien fordi sentrumstreet ikke nødvendigvis var et overhøydetre og heller ikke nødvendigvis det høyeste på prøveflata. Dermed uttrykker ikke I_{hS10} full produksjonsevne for prøveflata. Det er heller ikke vanlig å indikere produksjonsevne på så liten skala på grunnlag av kun ett tre. Likevel forutsetter vi at denne verdien sannsynligvis reflekterer produksjonsevnen på en liten skala. Fordi produksjonsevne varierer sterkt innen bestand, vil en slik lokalitetsindeks være interessant. Alderseffekten har sannsynligvis ikke være så stor fordi dette er plantede bestand og alderen vil derfor være ganske lik for sentrumstrærne.

Høyde hos sentrumstreet målt i 2005 betegnes heretter h_{S-05} . Brysthøydealder ble beregnet for hvert sentrumstre ved hjelp av toppskuddlengder og høyde (h_{S-05}). Toppskuddlengdene for år 2005, -04, -03 osv. ble suksessivt trukket fra h_{S-05} . Brysthøydealder var antall toppskuddlengder som måtte trekkes fra h_{S-05} før høyden var under brysthøyde (130 cm). Når brysthøydealderen var over 10 år ble gjennomsnittlig toppskuddlengde siste 10 år brukt for tidligere år (1995, -94, -93 osv.). Med den forutsetning om at veksten fram til 15 år er lineær, ble det beregnet en H_{15} -bonitet ut fra brysthøydealder og høyde. Det nevnte problemet med at sentrumstrærne ikke nødvendigvis

er overhøydetrær slik det forutsettes i Tveites (1977) bonitetssystem gjelder også ved beregning av H_{15} -bonitet ut fra sentrumstrærne. Dette gjør at H_{15} boniteten muligens er noe underestimert for bestandene. Referansealderen 15 år, ble valgt fordi Vestjordet (1977) har brukt denne referansealderen og han har beskrevet sammenhengen mellom H_{15} og H_{40} i en enkel funksjon slik at det er mulig å beregne H_{40} -boniteten. Denne funksjonen for gran er som følgende:

$$H_{40} = 2,2573 * H_{15} - 0,72 \quad (\text{Vestjordet 1977, s 364})$$

H_{15} - og H_{40} -bonitet ble beregnet bestandsvis som et gjennomsnitt av sentrumstrærne i hvert bestand. H_{15} -verdien for den enkelte prøveflate ble også brukt i analysen som et mål for lokalitetsindeks som et alternativ til I_{hS10} .

2.3.2 Høydeforhold før inngrep

Som tidligere beskrevet ble avkappet topp målt slik at materialet gir rimelig nøyaktige data om høyde før inngrep for toppkappede trær. Høyde før inngrep for et toppkappet tre betegnes h_{TF} . Sentrumtreets høyde ved behandlingstidspunkt (2001) betegnes h_{S-01} og ble beregnet ved å trekke siste 4 års toppskudd fra høyden til sentrumstreet. Forholdet mellom h_{TF} og h_{S-01} gir et mål på treets sosiale posisjon og før inngrepet. Verdien h_{TF}/h_{S-01} ble derfor inkludert i analysen av høydeutviklingen hos toppkappede trær. Høyde før inngrep (h_{TF}) (cm) alene ble også forsøkt brukt som forklaringsvariabel fordi størrelsen på treet og dermed vitaliteten før inngrepet kan spille inn på høydeutviklingen. Effekten av lengde og alder hos de øverste greinene under kappehøyde, vil sannsynligvis også bli reflektert i variabelen h_{TF} .

2.3.3 Inngrepsintensitet

Inngrepsintensitet ved toppkapping vil vanligvis bety hvor mange av konkurrentene som kappes og hvor lavt de kappes for å fristille et framtidstre. For det enkelte toppkappede tre vil dette bety hvilket forsprang framtidstreet har blitt gitt ved toppkapping. Kappehøyde (h_{TE}) ble ikke inkludert i analysen fordi variasjonen er liten. Dessuten er kappehøyden bestemt subjektivt i hvert tilfelle av operatøren, gjerne i forhold til sentrumtreets høyde. Dette vil derfor kunne gi uriktige resultater. For å unngå dette bruktes her høydeforskjellen mellom kappehøyde og høyde hos sentrumstre som mål på inngrepsintensitet for alle toppkappede trær. Denne differansen uttrykt i cm betegnes

$$Dif_{01} = h_{S-01} - h_{TE}$$

2.3.4 Konkurransen fra nabotrær

Fordi materialet består av flater med både kjent høyde og kjent horisontal plassering av alle trær høyere enn 1,3m, er det mulig å analysere konkurransen på enkelttreenivå ut fra høyde og avstand til nabotrær og deres høyde.

Eriksson (1976) sammenlignet flere ulike måter å beregne konkurransen for enkelttrær i ungskog av gran og furu. Hensikten var å studere hvordan veksten hos hovedtrærne etter en regulering påvirkes av konkurranse fra nabotrær i forhold til høyde hos treet konkurransen skal beregnes for (subjekttreet), avstand og retning til nabotrær og deres høyde. Han fant en signifikant effekt av konkurranse på diameterveksten. Effekten av konkurranse økte med økende høyde hos nabotrær og minkende avstand. Dessuten var effekten av konkurranse også avhengig av høyde hos subjekttreet og fordelingen av konkurrentene rundt subjekttreet. Han fant begrenset eller ingen effekt av konkurranse fra nabotrær lengre unna enn 3 m. Eriksson (1976) kunne imidlertid ikke påvise noen effekt av konkurranse på høydeveksten. Likevel er det grunn til å tro at effekten av konkurranse på høydeveksten hos undertrykte, toppkappede trær kan være tydeligere.

Hensikten med denne studien var ikke å undersøke hvordan effekten av konkurranse varierer med høyde- og avstandsforhold, men først og fremst hvor vidt høydeveksten hos toppkappede trær påvirkes av konkurranse eller ikke. Derfor ble det her ikke forsøkt å gi en avansert og raffinert modell som beskriver effekten av konkurranse. Konkurransenindeksen som her er beregnet, skiller ikke mellom effekt av høydeforhold og avstandsforhold og tar heller ikke hensyn til horisontal retning til konkurrentene rundt det toppkappede treet som konkurransenindeksen beregnes for.

For å kunne estimere konkurransesituasjonen i 2001, ble det estimert en høyde for alle trær i 2001 etter inngrepet. For de toppkappede trærne er det h_{TE} og for sentrumstreet h_{S-01} . For å estimere høyden i 2001 for alle andre trær (h_{01}), ble det antatt at de hadde samme prosentvise høydevekst som sentrumstreet. Dermed ble høyden for alle andre trær i 2001 uttrykt som høyden i 2005 multiplisert med andelen sentrumstreets høyde i 2001 utgjorde av sentrumstreets høyde i 2005 slik:

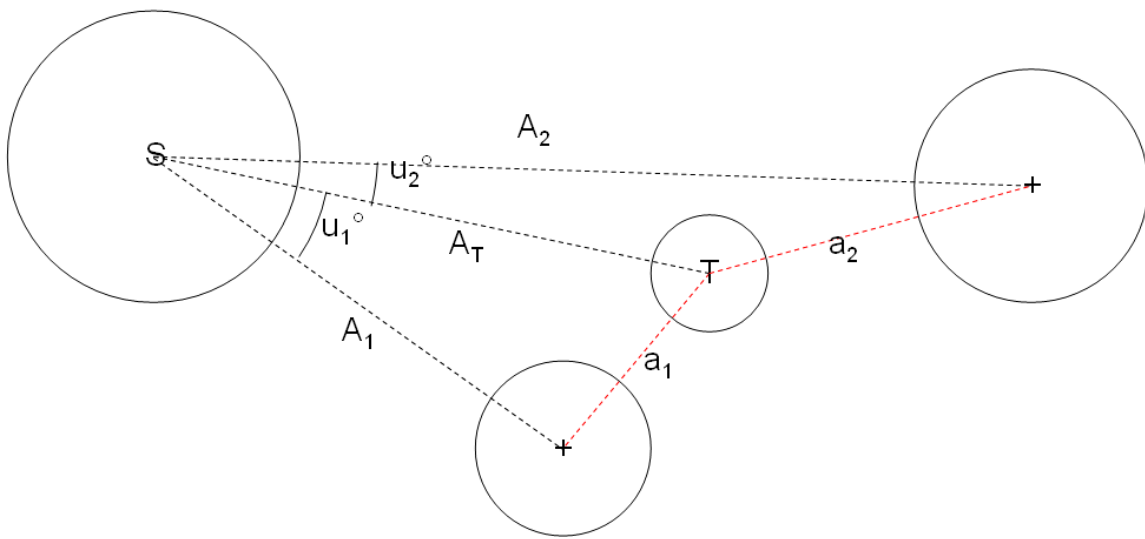
$$h_{01} = h_{05} * h_{S-01}/h_{S-05}$$

Ut fra retning og avstand til framtidstreet, ble det for hvert toppkappede tre, beregnet avstand til alle andre trær på samme prøveflate. Disse avstandene ble beregnet med enkel trigonometri (Figur 4).

Med cosinussetningen blir formelen for avstand a_i til nabotre i :

$$a_i = (A_i^2 + A_T^2 - 2 \cdot A_i \cdot A_T \cos u_i^\circ)^{0,5}$$

A_i er den målte avstanden mellom sentrumstreet og nabotre i . A_T er den målte avstanden mellom sentrumstreet og treet som konkurranseindeksen skal beregnes for. Vinkelen mellom disse to linjene er u_i° (Figur 4).



Figur 4. Beregning av avstand til nabotrær (a_i).

S er sentrumstreet og T er det toppkappede treet som konkurranseindeksen skal beregnes for og + er andre nabotrær. Formelen for beregning av a_i er gitt i teksten.

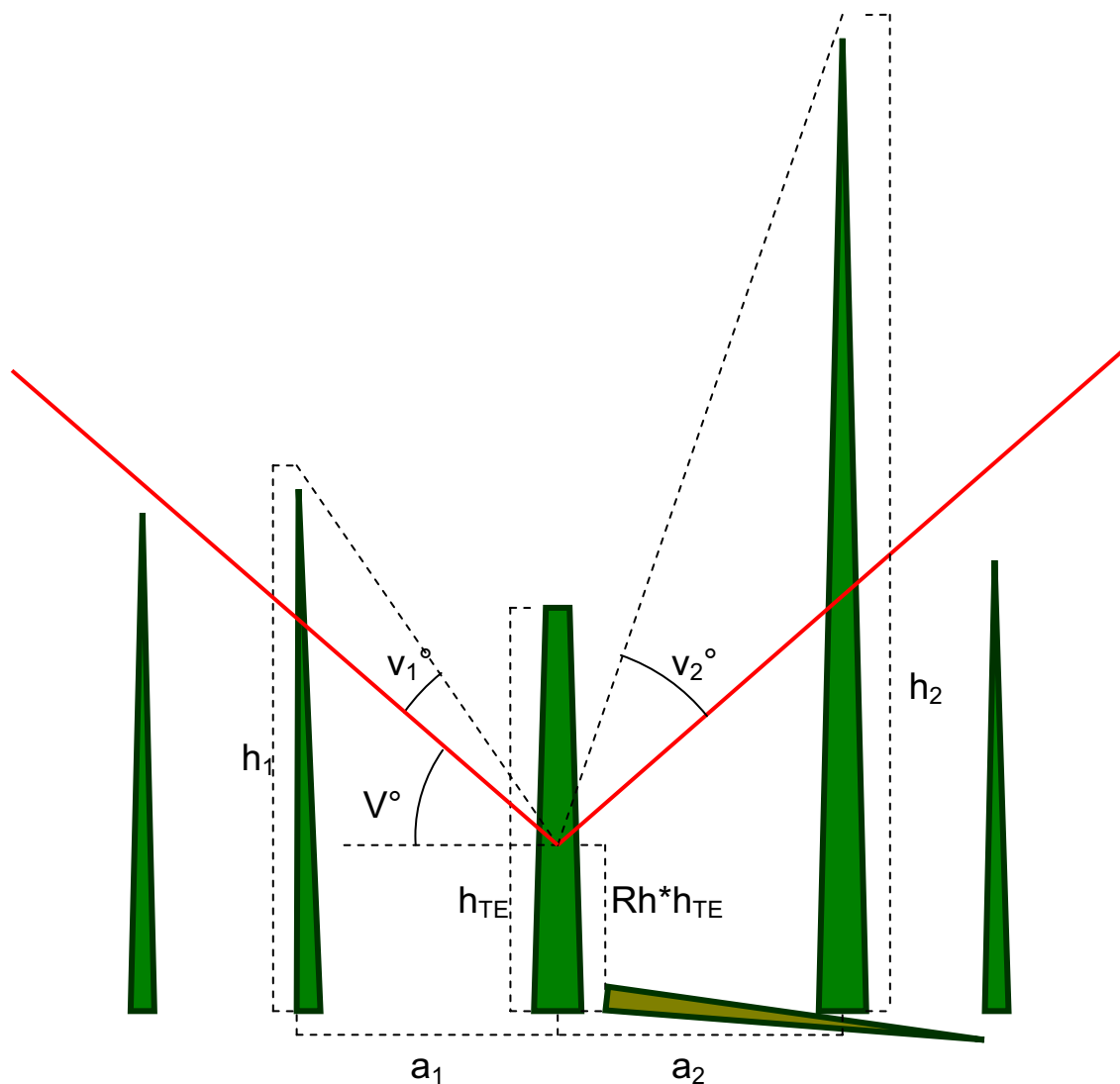
Det ble beregnet en konkurranseindeks for alle toppkappede trær. Trær som var mindre enn 1,3m i 2005 ble ikke inkludert i beregningen av konkurranseindeks fordi horisontal plassering var ukjent. For å begrense hvilke nabotrær som ble tatt med i beregningen av konkurranseindeks, ble det beregnet en teoretisk opp ned kjegle med aksen i stammen på treet som konkurranseindeksen beregnes for (Figur 5). Bunnen av kjeglen er i et punkt på stammen der høyde overbakken er lik en konstant (Rh) mellom 0,0 og 1,0 multiplisert med kappehøyden (h_{TE}). Kanten på kjeglen har en vinkel V° på horisontalen. Nabotrær med toppen over denne kjeglen ble tatt med i beregningen. Konkurransen fra det enkelte nabotre ble beregnet som vinkelen v_i° mellom en linje fra bunnen i denne kjeglen til toppen på nabotreet og kanten på kjeglen (Figur5.). Formelen for vinkelen v_i° er

$$v_i^\circ = \tan^{-1}((h_i - Rh * h_{TE})/a_i) - V^\circ$$

Her er h_i høyde hos nabotre i og a_i er avstand til nabotre i . Konkurransindeksen ble beregnet som summen av disse vinklene til alle konkurrenter. Formelen for konkurransindeksen er:

$$KI = \sum_{i=1}^n v_i^\circ$$

der n er antall konkurrenter.



Figur 5. Beregning av konkurransindeks.

h_{TE} er høyden på det toppkappede treet som konkurransindeksen skal beregnes for. Avstand og høyde til nabotre i betegnes henholdsvis a_i og h_i . De røde linjene markerer kantene på den teoretiske opp ned kjeglen med akse i treet som konkurransindeksen skal beregnes for. V° er vinkelen på kantene av kjeglen. Rh er et tall mellom 1,0 og 0,0 og bestemmer høyden til bunnen av kjeglen relativt til høyden på treet som konkurransindeksen skal beregnes for. Konkurransindeksen er uttrykt i summen av v_i° .

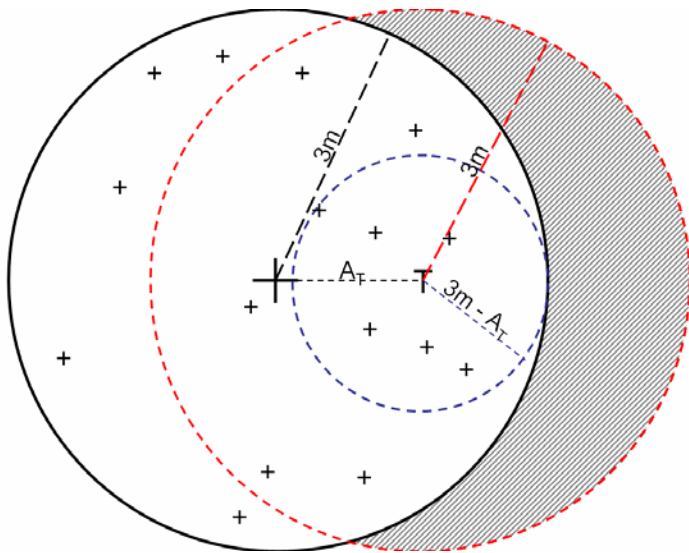
2.3.4.1 Korrigering av konkurranseindeksen for plassering i prøveflaten

Beregnet konkurranseindeks kan bli mindre enn den faktiske situasjonen for trær som står nærmere kanten fordi det mangler informasjon om trær som står like utenfor flata. Derfor ble det gjort en korreksjon for konkurranseindeksen for det enkelte toppkappede tre. Denne korreksjonen var en funksjon av treets avstand til sentrumstre og avstand til det enkelte nabotre (Figur 6). Først ble nabotrær som sto lenger unna enn 3 m eliminert fra beregning av konkurranseindeksen. Innenfor en radius lik avstand til kanten av prøveflata ble ingen korreksjon gjort fordi her var det full informasjon. For de resterende trærne ble følgende antagelser gjort: Bidraget til samlet konkurranse fra nabotrær innefor prøveflaten er representativt for konkurranse fra nabotrær utenfor prøveflaten med samme avstand til treet konkurranseindeksen beregnes for. Andel av en sirkelbue med radius lik avstand til nabotreet (a_i), som er utenfor prøveflata, vil kunne brukes for å korrigere for manglende informasjon om konkurranse fra trær utenfor prøveflata (Figur 7). Dermed kan man ”speile” konkurransen gjennom det toppkappede treet og vekte den med vinkelen til sirkelbuen med radius lik a_i som er utenfor prøveflata (a°). Formelen for vinkel a° er

$$a^\circ = 360 - 2(\cos^{-1}((A_T^2 + a_i^2 - 300^2)/(2 \cdot A_T \cdot a_i)))$$

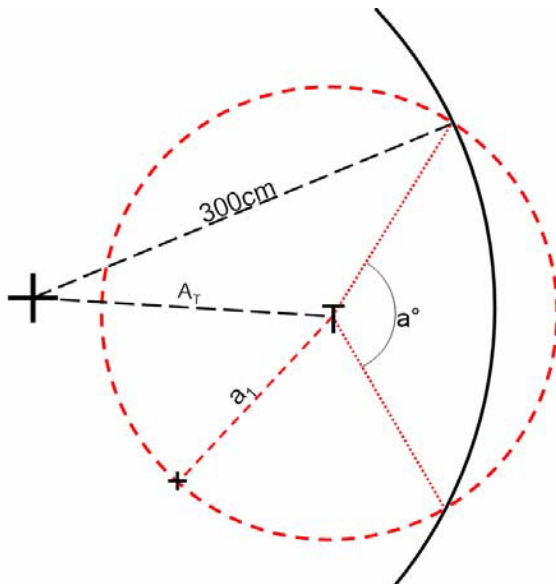
v_i° ble deretter korrigert med følgende korreksjonsfaktor (kf)

$$kf = 360^\circ / (360^\circ - a^\circ)$$



Figur 6. Korrigering av konkurranseindeks.

Det store krysset markerer sentrumstreet og den svarte sirkelen er prøveflata med radius 3m. T er det toppkappede treet som konkurranseindeksen skal beregnes for. A_T er avstanden mellom T og sentrum av prøveflaten. Kun nabotrær innenfor 3m radius (rød sirkel) fra T , inkluderes i beregningen. Innenfor en radius lik $3m - A_T$ (blå sirkel), er det full informasjon og ingen korreksjon ble gjort. I det skraverte området utenfor prøveflata mangler informasjon. Arealet av det skraverte området og sirkelen med full informasjon varierer med den horisontale plasseringen av T . Dette korrigeres for ved å speile informasjonen fra innenfor prøveflata over på det skraverte området slik det er beskrevet i teksten og i Figur 7.

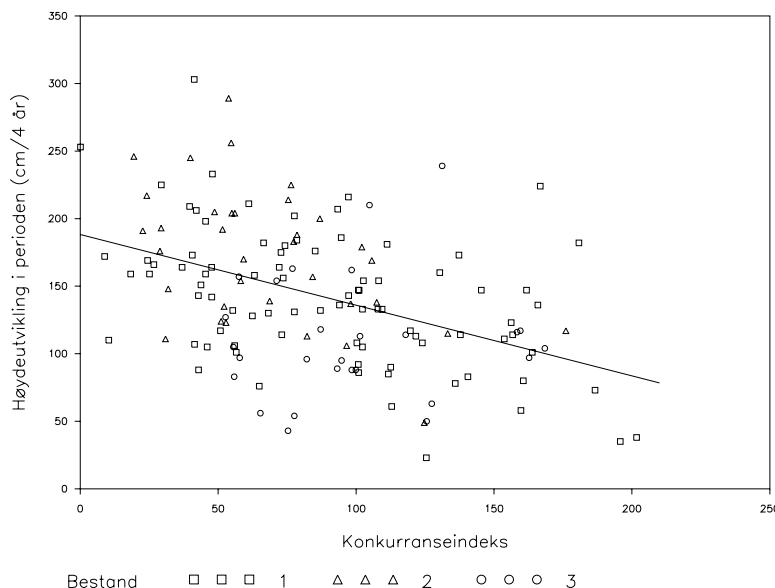


Figur 7. Korrigering av konkurranseindeks.

Det store krysset markerer sentrumstreet. Den svarte buen er kanten av prøveflata med radius 3m og T markerer det toppkappede treet som konkurranseindeksen skal beregnes for. Det lille krysset markerer en konkurrent som v_i° skal korrigeres for. A_T er avstand til framtidstreet og a_i er avstand til nabotre i . Den røde sirkelen har radius lik a_i rundt T . Sirkelbuen som er utenfor prøveflata har vinkel a° .

2.3.4.2 Tilpassing av konkurranseindeks

For å finne en konkurranseindeks som best mulig reflekterer konkurransen fra nabotrær som virker inn på høydeveksten, ble det gjort en analyse av konkurranseindekser med ulike utforminger av den teoretiske kjeglen som er beskrevet i Figur 5. Korrelasjoner mellom høydeøkning hos det toppkappede treet og konkurranseindekser etter korrigering for avstand til sentrum av prøveflata, med ulike verdier for V° mellom 0° og 90° og verdier for Rh mellom 0 og 1, ble beregnet. Døde toppkappede trærne ble utelatt i beregningen. Konkurranseindekser beregnet med 2001-høyder, korrelerte best med veksten hos det toppkappede treet ved en V° -verdi på 53° og en Rh -verdi på 0,4. Dette ga en negativ korrelasjon med en korrelasjonskoeffisient på $R = -0,45632$ og en signifikant sammenheng ($P < 0,0001$) (Figur 8). Konkurranseindeksen med disse verdiene for V° og Rh ble derfor brukt i videre beregninger.



Figur 8. Sammenheng mellom høydeøkning og konkurranseindeks ved beste tilpasning av V° og Rh .

Figuren viser en signifikant ($P < 0,0001$) negativ sammenheng ($R = -0,45632$) mellom total høydeøkning i perioden mellom behandling og oppmåling (4 år) for toppkappede trær og beregnet konkurranseindeks etter korrigering for plassering på prøveflata. Regresjonslinjen for sammenhengen er vist i figuren. I denne beregningen av konkurranseindeks er verdien for $V^\circ = 53^\circ$ og $Rh = 0,4$.

2.3.4.3 Alternativ konkurranseindeks

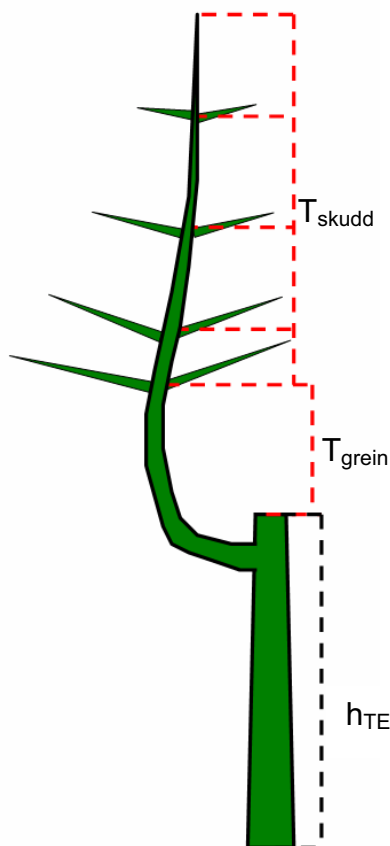
Det ble også beregnet en enklere indeks for konkurranse hvis hensikt var å beskrive rotkonkurranse. Denne indeksverdien er lik antall trær innenfor 1 m radius rundt det toppkappede

treet. Trær lavere enn 1,3 m i 2005 ble ikke inkludert i dette antallet fordi horisontal plassering er ukjent. Denne verdien betegnes $n_{a<100}$.

2.3.5 Høydeutvikling hos toppkappede trær etter behandling

Første vekstsesongen etter at et tre har blitt toppkappet, vil en eller flere av de øverste greinene rette seg oppover. Denne greina vil stå for videre høydevekst. Høydeutviklingen de første årene er altså en samlet effekt av at en grein retter seg oppover og av toppskuddlengdene (Figur 9). Det kan tenkes at disse to faktorene ikke påvirkes på samme måte av de ulike forklaringsvariablene.

Høydegevinst ved toppskudd første fire år (T_{skudd}) og ved oppretting av grein (T_{grein}) ble derfor analysert hver for seg. Med T_{grein} menes her differanse mellom sammenlagte toppskuddlengder og total høydeutvikling i perioden.



Figur 9. Illustrasjon av T_{grein} og T_{skudd} .

Total høydeutvikling i perioden etter behandling hos det toppkappede treet er summen av høydetilvekster i 2005, 2004, 2003 og 2002 (T_{skudd}) og oppretting av grein (T_{grein}). T_{grein} kan være negativ hvis greina ikke bøyer seg opp over kappehøyde (h_{TE}).

Høydeøkningen ble dermed forsøkt forklart i en multippel regresjonsanalyse med følgende variabler: Konkurransindeks (KI), $n_{a<100}$, I_{hS10} , H_{15} (på prøveflatenivå), h_{TF} , h_{TF}/h_{S-01} , Dif_{01} og bestand som klassevariabel. Alle kombinasjoner med en, to, tre, fire og fem variabler ble utprøvd i multiple regresjonsmodeller for å finne modellene som best forklarer veksten (T_{skudd} og T_{grein}) hos de toppkappede trærne i materialet. Alle modellene med kombinasjoner av variabler der alle variablene var signifikante ($P < 0.05$) er beskrevet i Tabell 2 og Tabell 3. Først ble veksten forsøkt forklart med hver av variablene enkeltvis. Deretter ble modeller med ulike kombinasjoner av to variabler analysert. På samme måte ble kombinasjoner med tre og eventuelt fire og fem variabler analysert. For de modellene som bare inkluderte signifikante variabler ble bestand som klassevariabel, inkludert for å undersøke om det var signifikante bestandseffekter. Interaksjoner mellom variablene i disse modellene ble også inkludert. Om et interaksjonsledd er signifikant i modellen betyr det at en variabel virker ulikt ved lave og høye verdier av en annen variabel.

I vurderingen av hvilken modell som er best egnet, ble det i prioritert rekkefølge tatt i betraktning modellens signifikansverdi, modellens standardavvik ($\sqrt{MSE}$) og multippelkorrelasjonskoeffisient (R^2). Det var også en forutsetning at modellen er gyldig i betydning av at alle variablene og eventuelle interaksjonsledd i modellen var signifikante ($P < 0.05$). Det vil si at parameterestimaterne var signifikant forskjellig fra 0. I tillegg ble en enklere modell med færre variabler som er lettere å forklare biologisk, tillagt større vekt enn en mer kompleks modell med flere variabler.

2.3.6 Framtidig utvikling av høydeforhold

Toppskuddlengder fra perioden etter inngrep ble brukt for å undersøke om sentrumstreet sto i fare for å bli innhentet av toppkappede trær i nærmeste framtid. At toppskuddlengdene de siste to eller tre årene ikke viste noen stigende eller synkende trend, var en forutsetning for å kunne bruke et gjennomsnitt av disse toppskuddlengdene til å framskrive veksten og utviklingen av forholdet mellom høydene hos sentrumstrær og toppkappede trær. Framtidige høyder for toppkappede trær og sentrumstre ble beregnet for 10 år etter behandling (6 år fram i tid) og 15 år etter behandling (11 år fram i tid).

Resultatene fra analysen av toppskuddlengdene hos toppkappede trær, tydet på at veksten ble redusert første året, men var stabil andre, tredje og fjerde året etter toppkapping i bestand 1 og 2 (Figur 11). Veksten for toppkappede trær fra bestand 1 og 2 ble derfor ekstrapolert ved å anta en årlig tilvekst lik et gjennomsnitt av siste tre års toppskuddlengder. I bestand 3 var veksten fortsatt stigende etter 4 år. Å forutsette framtidig høydevekst lik det siste årets toppskuddlengde, kunne likevel gi store feil på grunn av stor tilfeldig variasjon i toppskuddlengder. Derfor ble det antatt

en framtidig høydevekst lik et gjennomsnitt av siste 2 års toppskuddlengder for toppkappede trær i bestand 3.

Hos sentrumstrærne tydet analysen på en synkende trend i årlig høydetilvekst fra 2001 (behandlingstidspunkt) til 2004 (Figur 13). Det var usikkert om dette var en midlertidig effekt av behandlingen, men det kunne virke som det ble slutt på denne nedgangen i 2004 fordi gjennomsnittlig toppskuddlengde i 2005 var noe lengre enn i 2004 i alle bestand. Hvis dette var en midlertidig reduksjon i høydetilvekst, er det en fare for at estimerte framtidige høyder for sentrumstrærne ville bli for lave om man hadde brukt et gjennomsnitt av toppskuddlengdene fra årene etter behandling (2002, 2003, 2004 og 2005) for å framskrive veksten. Derfor ble gjennomsnittlig høydetilvekst siste 5 år (2001 inkludert) brukt for å framskrive høydetilveksten i alle bestand.

Usikkerheten ved framtidige høyder vil likevel være stor på grunn av stor tilfeldig variasjon i toppskuddlengder også innen samme tre (Figur 10 og 12). Derfor ble det besluttet å ikke gjøre framskrivninger av vekst lengre fram i tid enn 11 år (15 år etter behandling).

3 Resultater

3.1 Generelle resultater

Beregnete verdier for tetthet, bonitet, høyde og lauvandel for de tre bestandene ut fra data fra prøveflatene er gitt i Tabell 1. Tabell 1 viser også verdier som beskriver behandlingen med hensyn på kappehøyde og nedtopping (nivellering). Materialet inkluderer totalt 151 toppkappede trær hvorav 86 i bestand 1, 35 i bestand 2 og 27 i bestand 3. Tre toppkappede trær var døde.

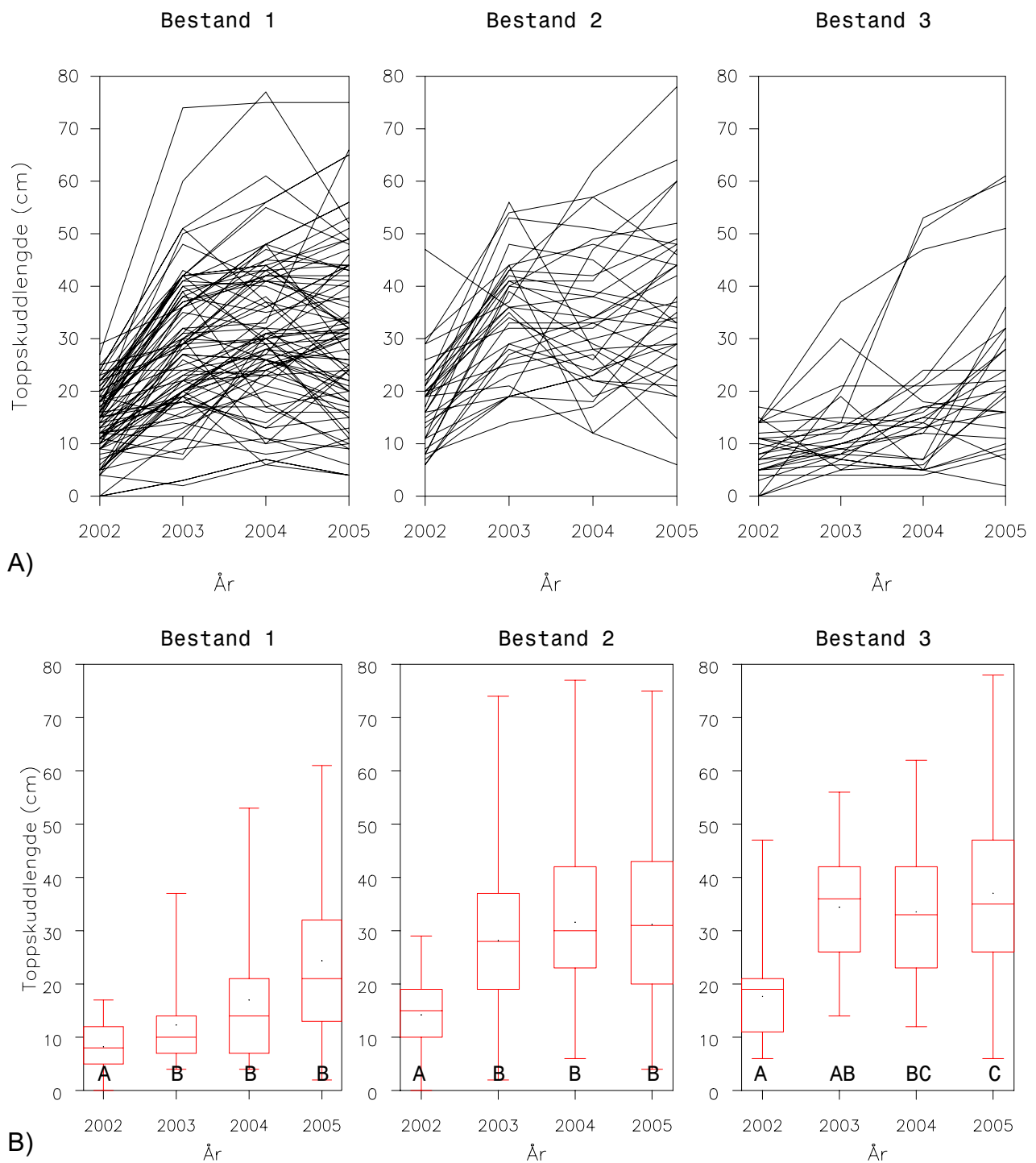
Tabell 1. Gjennomsnittsverdier (Snitt), standardavvik (STD), maksimums- (MAX), og minimumsverdier (MIN) for hvert bestand ut fra prøveflatene.

Høydeverdiene er fra framtidstreet i sentrum av hver prøveflate ved måletidspunkt (2005) og ved behandlingstidspunkt (2001). I tetthetsverdiene er alle trær på prøveflatene (3m radius) inkludert selv om de fleste av dem er små og indifferente. Derfor virker tettheten urealistisk høy. H_{15} bonitet er estimert ut fra høyde og brysthøydealder hos sentrumstrærne. I følge skogbruksplanen var H_{40} boniteten G14 i alle tre bestandene. Antallet toppkappede trær pr flate gjelder innenfor 2m radius rundt sentrumstreet ($12,57\text{m}^2$ pr flate). Med høydeforskjell (Dif_{01}) menes høydeforskjellen mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde. Gjennomsnittsverdiene for kappehøyde (h_{TE}) og Dif_{01} er beregnet med alle toppkappede trær i hvert bestand. Som indikasjon for nedtopping er høyde hos det høyeste toppkappede nabotreet før behandling angitt i prosent av sentrumtreets høyde. Dessuten er det angitt prosent av sentrumstrærne som hadde minst et toppkappet nabotre som var høyere før behandling ($(h_{TF}/h_{S01}) > 1,0$).

Ant. Prøveflater	Bestand 1				Bestand 2				Bestand 3			
	21				17				11			
	Snitt	STD	MIN	MAX	Snitt	STD	MIN	MAX	Snitt	STD	MIN	MAX
Høyde (S) 2005 (cm)	464	87	338	650	545	121	372	790	599	76	470	710
Høyde (S) 2001 (cm)	308	72	205	482	349	90	230	545	454	71	353	570
Tetthet (tre/ha)	15 006	8 588	1 415	37 136	9 924	3 489	5 305	18 391	6 077	4 784	2 122	18 745
Andel lauv (%)	5	7	0	25	22	18	0	64	8	10	0	30
Bonitet (H_{15}) (beregnet)	7,2	1,3	4,8	9,6	8,2	1,6	6,2	11,2	6,7	0,6	5,8	7,6
Bonitet (H_{40}) (beregnet)	15,5	3,0	10,1	20,8	17,7	3,6	13,3	24,7	14,5	1,4	12,4	16,5
Ant. Toppkappede trær pr. flate	4,19	2,09	1	9	2,06	0,97	1	4	2,55	1,92	1	6
Kappehøyde (h_{TE})	138	27	73	216	146	24	106	203	172	21	149	225
Høydeforskjell (Dif_{01})	184	60	67	306	214	81	108	405	260	55	182	374
Høyeste toppede nabotre i % av S	113	28	78	168	109	18	81	154	98	29	65	176
Andel med minst en (h_{TF}/h_{S01}) > 1,0	57%				59%				18%			

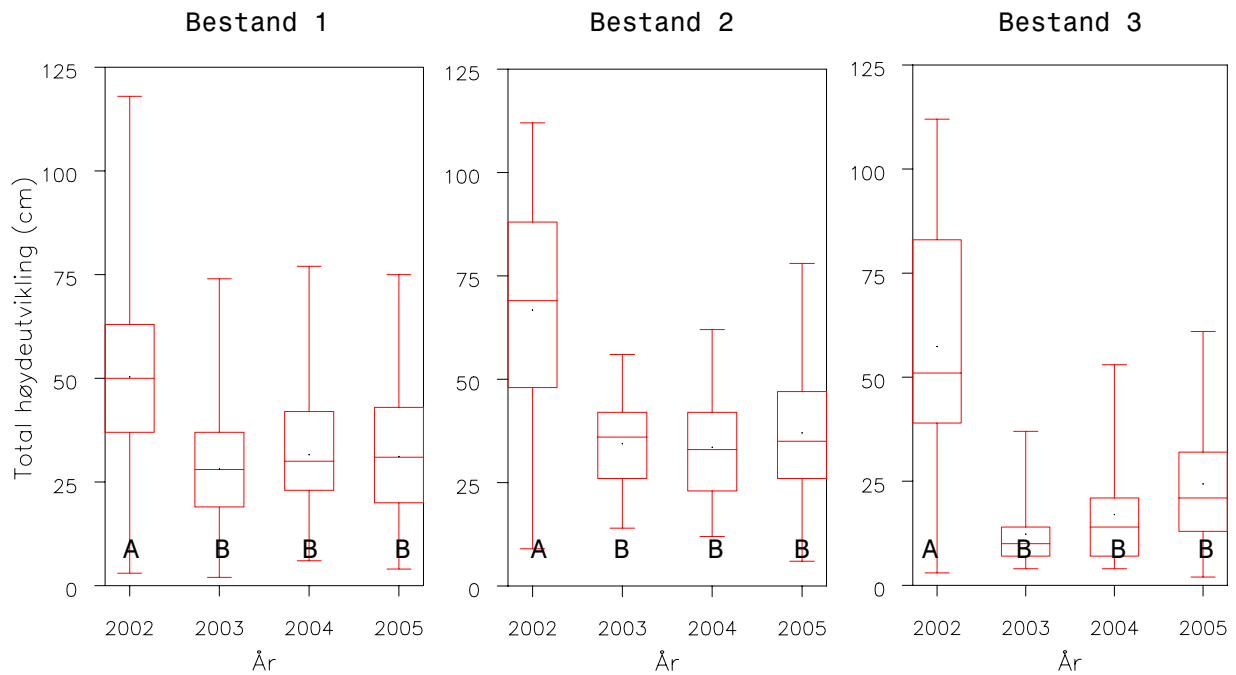
3.2 Vekst hos toppkappede trær fram til 2005

Vekstforløpet for alle toppkappede trær er illustrert i Figur 10. Total høydeutvikling i perioden for toppkappede trær varierte fra 23 cm til 303 cm. En Bonferroni t-test ($p=0,05$) viste at i bestand 1 og 2 var toppskuddlengdene hos de toppkappede trærne signifikant lavere det første året etter toppkapping enn de neste tre års toppskuddlengder (Figur 10 B). En Bonferroni t-test viste ingen signifikant forskjell mellom høydeveksten i andre, tredje og fjerde året etter behandling i bestand 1 og 2. I bestand 3 var toppskuddlengdene første året signifikant lavere enn tredje og fjerde årets, men ikke signifikant lavere enn andre årets toppskuddlengder. Fjerde årets toppskuddlengder var også signifikant lengre enn andre årets, men ikke signifikant lengre enn tredje årets. Når oppretting av grein ble inkludert i høydeutviklingen det første året, var høydeutviklingen dette året signifikant høyere enn seinere års toppskuddlengder i alle bestand (Figur 11). Det tyder på at oppretting av grein ikke bare kompenserer for redusert toppskuddlengde første året, men gir en høyere total høydeøkning første året enn seinere år.



Figur 10. Vekstforløp første 4 år hos toppkappede trær.

Variasjonen i toppskuddlengdene i de fire vekstsesongene etter behandling er her illustrert for hver av de tre bestandene. I Figur A representerer hver linje et toppkappet tre. I Figur B viser boksplottet fordelingen av toppskuddlengder på år i hvert bestand. Linjen som deler boksen horisontalt markerer median. Boksen viser fordelingen av 2. og 3. kvartil av observasjonene og den vertikale linjen over og under viser fordelingen av 1. og 4. kvartil. Svart punkt indikerer gjennomsnittsverdi. Bokstavene under boksene viser om gjennomsnittsverdiene er signifikant forskjellige (Bonferroni t-test, 0,05). År merket med samme bokstav har ikke signifikant forskjell i gjennomsnittsverdier av toppskuddlengden.

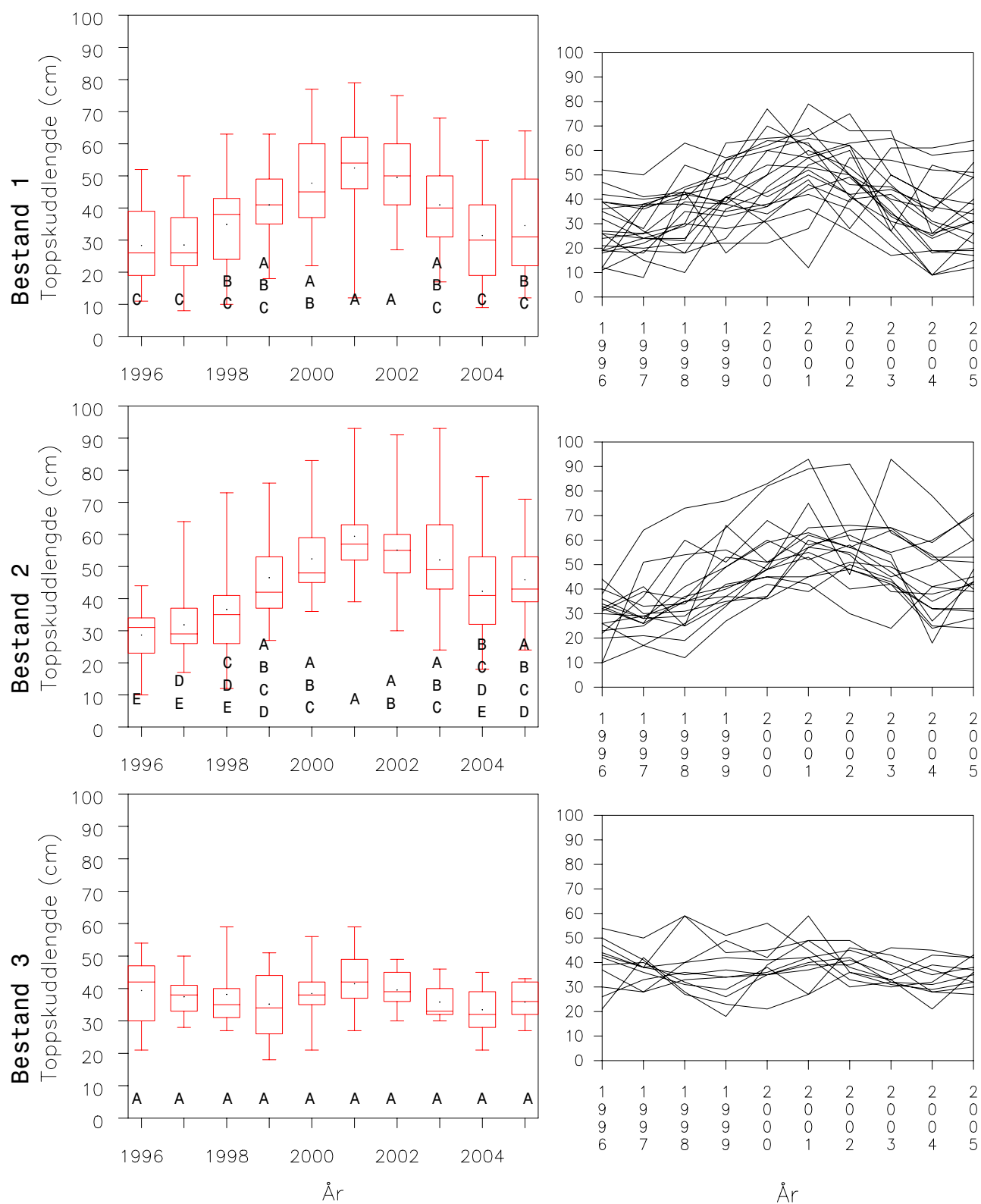


Figur 11. Total høydeutvikling første fire år (inkludert oppretting av grein).

Høydeutviklingen i 2002 er en samlet effekt av oppretting av grein og toppskuddet. Seinere års høydeutvikling er tilsvarende toppskuddlengden i Figur 10. Bokstavene under boksene indikerer om gjennomsnittsverdiene er signifikant forskjellige (Bonferonni t-test, $p=0,05$).

3.3 Vekst hos sentrumstrær fram til 2005

Veksten hos sentrumstrærne i bestand 1 og 2 siste 10 år viste en ganske tydelig stigende trend fram mot en topp i 2001 som er behandlingstidspunktet (Figur 12). Fram mot 2004 var det en synkende trend i toppskuddlengder, mens det kan virke som toppskuddlengdene tar seg opp igjen i 2005. Dette mønsteret var mindre tydelig i bestand 3 hvor toppskuddlengdene var mer stabile på et lavere nivå.



Figur 12. Toppskuddlengder hos sentrumstrærne siste 10 år.

Spredningen av toppskuddlengdene for hvert år innenfor hvert bestand er beskrevet i boksplottet.

Bokstavene under boksene indikerer om gjennomsnittsverdiene er signifikant forskjellige.

Linjediagrammet viser vekstforløpet for de enkelte trærne i hvert bestand slik at hver linje representerer ett sentrumstre.

3.4 Forklaring av toppskuddlengdene hos toppkappede trær

Variablene for konkurranse (KI og $n_{a<100}$) hadde relativt høy forklaringsverdi for toppskuddlengdene med en negativ korrelasjon (Tabell 2). Konkurranseindeks (KI) var den variabelen som alene best forklarte toppskuddlengdene (T_{skudd}) (modell nr 1, Tabell 2). Bestandseffekten var signifikant i sammenhengen mellom konkurranseindeks og toppskuddlengder (modell nr 2, Tabell 2). Variablene for lokalitetsindeks eller bonitet på prøveflatenivå (I_{hS10} og H_{15}), viste også en signifikant og positiv korrelasjon med toppskuddlengder. Av disse viste H_{15} best sammenheng med T_{skudd} alene (modell nr 3-6, Tabell 2), mens I_{hS10} ga bedre forklaring i modellene med flere variabler. Trær som var høye i forhold til sentrumstreet før toppkapping (h_{TF}/h_{S-01}), vokste fortere enn trær som hadde hatt en lavere sosial status (modell nr 9 og 10, Tabell 2). Denne effekten var imidlertid noe svak og ikke signifikant sammen med inngrepsintensitet (Dif_{01}). Høyde før inngrep (h_{TF}) hadde lite eller ingen forklaringsverdi alene (modell nr 11, Tabell 2). Inngrepsintensitet (Dif_{01}) hadde også en negativ korrelasjon med toppskuddlengdene (modell nr 12, Tabell 2). Særlig var dette signifikant sammen med lokalitetsindeks (I_{hS10}) (modell nr 23, Tabell 2). Dette betyr at høydeveksten hos de toppkappede nabotrærne var mindre når høydeforskjellen mellom kappehøyde og sentrumstre (Dif_{01}) var stor.

Av modellene med to variabler var det modellen med lokalitetsindeks (I_{hS10}) og inngrepsintensitet (Dif_{01}) som best forklarte toppskuddlengdene (modell nr 23, Tabell 2). Bestand som klassevariabel var ikke signifikant når den ble inkludert i denne modellen. Når bestand som klassevariabel ble inkludert i modellene med to variabler, var det modellen med lokalitetsindeks (I_{hS10}), konkurranseindeks (KI) og bestand (modell nr 14, Tabell 2) som ga best forklaring av T_{skudd} . Ingen interaksjonsledd var signifikante i modellene med to variabler.

Modellen med tre variabler som best forklarte toppskuddlengdene (T_{skudd}) inkluderer variablene konkurranseindeks (KI), lokalitetsindeks (I_{hS10}) og inngrepsintensitet (Dif_{01}) (modell nr 30, Tabell 2). Bestand som klassevariabel var ikke signifikant i denne modellen. Residualplott for denne modellen er gitt i Figur 13. Modellen er også illustrert i Figur 14 som viser sammenhengen mellom konkurranseindeks og toppskuddlengder med regresjonslinjer med ulike verdier for I_{hS10} og Dif_{01} ut ifra parametrene i modellen. Den beste modellen med fire variabler inkluderte KI , I_{hS10} , h_{TF} og h_{TF}/h_{S-01} (modell nr 37, Tabell 2), og alle variablene var svært signifikante ($P < 0,0001$). I denne modellen var høyde før inngrep (h_{TF}) negativt korrelert med veksten (T_{skudd}) mens høyde før inngrepet i forhold til sentrumstreet (h_{TF}/h_{S-01}) var positivt korrelert med veksten (T_{skudd}). Denne modellen hadde det minste standardavviket ($\sqrt{MSE}$) og den høyeste multiplikkorrelasjonskoeffisienten (R^2). Ingen interaksjonsledd i noen modeller var signifikante. Ingen modeller med flere enn fire variabler var gyldige.

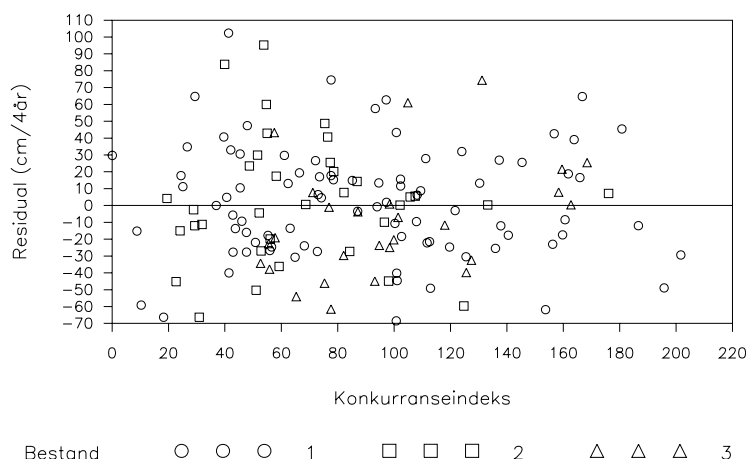
Tabell 2. Modeller som forklarte toppskuddlengdene hos toppkappede trær (T_{skudd}).

$Pr > F$ er modellens signifikansverdi uttrykt som sannsynlighet for en høyere F-verdi. R^2 er multipelkorrelasjonskoeffisient og $\sqrt{(MSE)}$ er modellens standardavvik. Variablene i tabellen er plassert slik at de som har som formål å beskrive det samme, står ved siden av hverandre. KI og $n_{a<100}$ beskriver konkurranse, I_{HS10} og H_{15} beskriver bonitet, h_{TF}/h_{S01} og h_{TF} beskriver høydeforhold før inngrep og Dif_{01} beskriver inngrepsintensitet. Derne er rekkefølgen av variablene slik at de med best forklaringsverdi er plassert til venstre. For interseptet og hver av variablene som er med i modellen er parameterestimatet notert. Antall * indikerer på hvilket signifikansnivå parameterestimatet er forskjellig fra 0, slik at * betyr $P < 0,05$, ** betyr $P < 0,01$ og *** betyr $P < 0,001$. Alle gyldige modeller med kombinasjoner av disse variablene og evt. og bestand som klassevariabel, er beskrevet i tabellen. I tillegg er noen ikke gyldige modeller beskrevet fordi de er referert til i teksten. Først er modellene med en og en av variablene beskrevet. Derne kommer modellene med ulike kombinasjoner av to variabler og siden de med tre og fire variabler. De beste modellene med 1, 2, 3 og 4 variabler er merket med gult.

Modell nr.	Pr > F	R^2	$\sqrt{(MSE)}$	Intersept	KI	$n_{a<100}$	I_{HS10}	H_{15}	h_{TF}/h_{S01}	h_{TF}	Dif_{01}	Bestand
1	<0,0001	0,1827	40,62	139,0 ***	-0,435 ***	-	-	-	-	-	-	-
2	<0,0001	0,3242	37,19	98,17 ***	-0,3685 ***	-	-	-	-	-	-	1: 40,2*** 2: 49,7*** 3: 0,0/***
3	0,0003	0,0878	42,91	123,3 ***	-	-3,25 ***	-	-	-	-	-	-
4	<0,0001	0,3088	37,61	83,07 ***	-	-3,89	-	-	-	-	-	1: 53,2*** 2: 57,7*** 3: 0,0/***
5	0,0001	0,0985	42,66	31,31	-	-	1,707 ***	-	-	-	-	-
6	<0,0001	0,2386	39,48	19,55	-	-	1,130 **	-	-	-	-	1: 40,1*** 2: 51,3*** 3: 0,0/***
7	<0,0001	0,1311	41,48	13,08	-	-	-	11,90 ***	-	-	-	-
8	<0,0001	0,2549	39,05	6,04	-	-	-	8,28 **	-	-	-	1: 38,7*** 2: 48,1*** 3: 0,0/***
9	0,0065	0,0517	45,31	61,65 ***	-	-	-	-	43,57 **	-	-	-
10	<0,0001	0,2347	39,92	32,64 *	-	-	-	-	34,14 *	-	-	1: 41,3*** 2: 57,6*** 3: 0,0/***

Modell nr.	Pr >F	R ²	√(MSE)	Intersept	KI	n _{a<100}	I _{hs10}	H ₁₅	h _{TF} /h _{s01}	h _{TF}	Dif ₀₁	Bestand
11	0,96	<0,0001	45,31	101 ***	-	-	-	-	-	-0,0018	-	-
12	0,0068	0,0491	43,81	130 ***	-	-	-	-	-	-	-0,1400 **	-
13	<0,0001	0,3076	37,52	62,61 ***	-0,4673 ***	-	1,930 ***	-	-	-	-	-
14	<0,0001	0,3952	35,30	44,47 **	-0,4228 ***	-	1,575 ***	-	-	-	-	1: 35,5*** 2: 34,9*** 3: 0,0/***
15	<0,0001	0,2978	37,78	54,54 **	-0,4162 ***	-	-	11,16 ***	-	-	-	-
16	<0,0001	0,1744	49,97	55,99 **	-	-3,03 ***	1,605 ***	-	-	-	-	-
17	0,0001	0,3462	36,71	40,98 *	-	-3,88 ***	1,121 **	-	-	-	-	1: 50,2*** 2: 48,3*** 3: 0,0/***
18	<0,0001	0,1886	40,61	40,89 *	-	-2,67 **	-	10,58 ***	-	-	-	-
19	<0,0001	0,3473	36,68	34,21 *	-	-3,62 ***	-	7,03 **	-	-	-	1: 48,8*** 2: 47,1*** 3: 0,0/***
20	<0,0001	0,1391	41,83	152,9 ***	-	-3,29 ***	-	-	-	-	-0,1431 **	-
21	<0,0001	0,1668	41,51	-22,27	-	-	1,870 ***	-	51,91 ***	-	-	-
22	<0,0001	0,2844	38,75	-24,58	-	-	1,334 **	-	42,59 **	-	-	1: 37,9*** 2: 45,7*** 3: 0,0/***
23	<0,0001	0,3228	37,10	34,78 *	-	-	3,413 ***	-	-	-	-0,3589 ***	-
24	<0,0001	0,1834	41,09	-28,71	-	-	-	12,10 ***	44,89 **	-	-	-
25	<0,0001	0,2932	38,51	-30,32	-	-	-	8,84 **	38,01 **	-	-	1: 37,3*** 2: 43,7*** 3: 0,0/***
26	<0,0001	0,2767	38,34	29,36	-	-	-	16,87 ***	-	-	-0,2593 ***	-

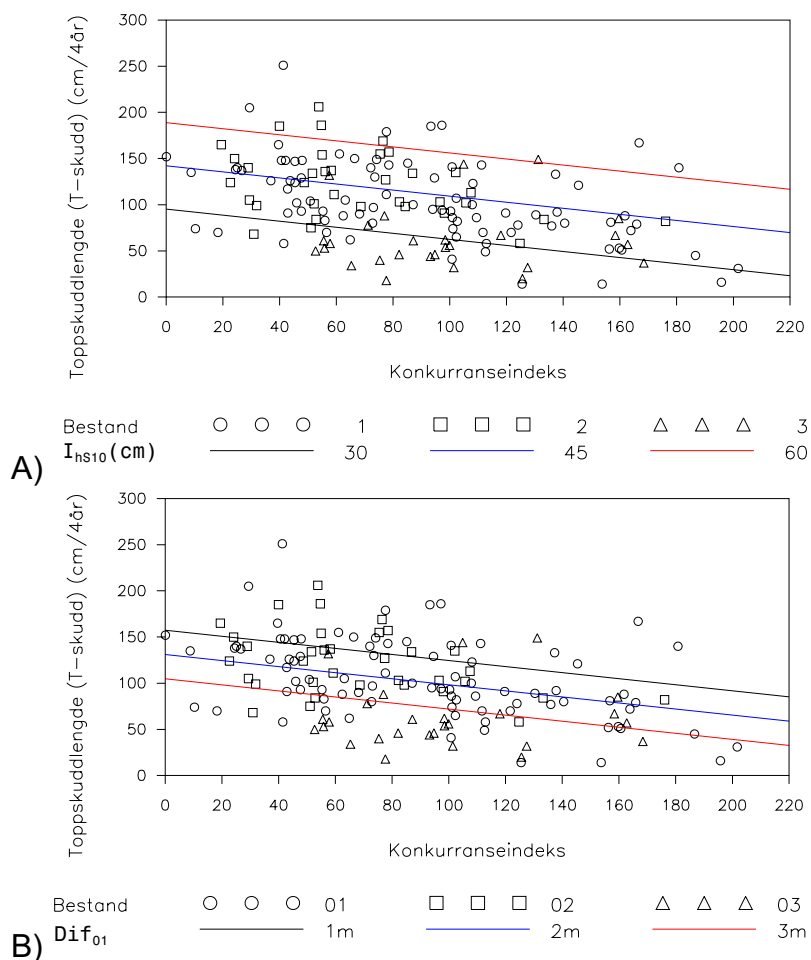
Modell nr.	Pr >F	R ²	√(MSE)	Intersept	KI	n _{a<100}	I _{hs10}	H ₁₅	h _{TF} /h _{s01}	h _{TF}	Dif ₀₁	Bestand
27	<0,0001	0,3159	37,55	24,47	-	-	-	13,01 ***	-	-	-0,1938 ***	1: 21,5* 2: 32,1* 3: 0,0/*
28	<0,0001	0,3178	37,7	33,55	-0,4189 ***	-	1,977 ***	-	25,51	-	-	-
29	<0,0001	0,3186	37,67	74,16 ***	-0,4715 ***	-	2,129 ***	-	-	-0,0625	-	-
30	<0,0001	0,4100	34,75	55,82 ***	-0,3280 ***	-	3,117 ***	-	-	-	-0,2635 ***	-
31	<0,0001	0,3506	36,46	54,41 **	-0,3061 ***	-	-	14,67 ***	-	-	-0,1725 ***	-
32	<0,0001	0,3925	35,27	58,35 ***	-	-2,901 ***	3,291 ***	-	-	-	-0,3538 ***	-
33	<0,0001	0,3259	37,14	54,64 **	-	-2,470 **	-	15,51 ***	-	-	-0,2520 ***	-
34	<0,0001	0,3443	36,96	-60,79 **	-	-	3,211 ***	-	135,86 ***	-0,2946 ***	-	-
35	<0,0001	0,3371	37,16	7,207	-	-	3,374 ***	-	27,23	-	-0,3341 ***	-
36	<0,0001	0,2992	38,21	-43,50	-	-	-	16,24 ***	103,40 ***	-0,2194 ***	-	-
37	<0,0001	0,4257	34,71	-10,89	-0,3195 ***	-	3,037 ***	-	99,76 ***	-0,2386 ***	-	-
38	<0,0001	0,4098	35,19	41,59	-0,3074 ***	-	3,117 ***	-	13,36	-	-0,2596 ***	-
39	<0,0001	0,4061	35,3	55,01 **	-0,3202 ***	-	3,127 ***	-	-	0,0096	-0,2775 ***	-
40	<0,0001	0,3670	36,45	6,711	-0,2942 ***	-	-	14,70 ***	70,49 ***	-0,1670 ***	-	-
41	<0,0001	0,4012	35,45	-25,38	-	-2,730 ***	3,122 ***	-	125,27 ***	-0,3070 ***	-	-
42	<0,0001	0,3383	37,26	-8,999	-	-2,286 **	-	15,11 ***	93,97 ***	-0,2268 ***	-	-



Figur 13. Residualplott over modellen for toppskuddlengder (T_{skudd}).

Modellen inkluderer variablene konkurranseindeks (KI), I_{hs10} , og Dif_{01} (modell nr 30 i Tabell 2).

Residual = målt toppskuddlengde – beregnet toppskuddlengde.



Figur 14. Sammenhengen mellom toppskuddlengder (T_{skudd}) og konkurranseindeks.

Regresjonslinjer etter modell 30 i Tabell 2, er tegnet inn i figuren. Figur A viser regeresjonslinjer med tre ulike verdier for I_{hs10} og med en konstant gjennomsnittsverdi for Dif_{01} . Figur B viser på samme måte regresjonslinjer med tre ulike verdier for Dif_{01} og en konstant gjennomsnittsverdi for I_{hs10} .

3.5 Forklaring av oppretting av grein

Variabelen som best forklarte oppretting av grein (T_{grein}), var høyde før inngrep (h_{TF}) (modell nr 1, Tabell 3). Bestand som klassevariabel var ikke signifikant sammen med høyde før inngrep (h_{TF}). Høyde før inngrep i forhold til høyden hos sentrumstre (h_{TF}/h_{S-01}) hadde også en signifikant sammenheng med T_{grein} , men når h_{TF} ble inkludert i modellen (modell nr 10, Tabell 3) var ikke lenger denne sammenheng signifikant. Konkurransen ($n_{a<100}$ og KI) hadde en signifikant sammenheng med T_{grein} (modell nr 4 og 5, Tabell 3). Antall trær innenfor en meters radius ($n_{a<100}$) ga bedre sammenheng enn konkurranseindeksen (KI). Inngrepsintensitet (Dif_{01}) hadde en svak ($R^2=0,06$), men signifikant positiv korrelasjon med T_{grein} (modell nr 6 og 7, Tabell 3). Dette har sannsynligvis sammenheng med at Dif_{01} er positivt korrelert med h_{TF} ($R=0,47$). Bonitet eller lokalitetsindeks (I_{HS10} og H_{15}) (Modell nr 8 og 9, Tabell 3) hadde ingen signifikant sammenheng med T_{grein} verken alene eller i modeller sammen med andre variabler.

Modellen med to variabler som best forklarte oppretting av grein (T_{grein}), inkluderte variablene høyde før inngrep (h_{TF}) og antall trær innenfor 1m radius ($n_{a<100}$) (Modell nr 11, Tabell 3). Ingen bestandseffekt var signifikant i modellen. Residualplottet for denne modellen er vist i Figur 15. Sammenhengen mellom oppretting av grein (T_{grein}) og høyde før inngrep (h_{TF}) er beskrevet i Figur 16, hvor regresjonslinjer ut ifra modellens parametere med tre ulike verdier for $n_{a<100}$, er tegnet inn. Det kan tenkes at konkurranse fra nabotrær kan påvirke greinas evne til å bøye seg opp, men sammenhengen med konkurranse ($n_{a<100}$) i dette materialet kan også være et resultat av at konkurransen påvirker greinlengden snarere enn greinas evne til å bøye seg opp.

Den beste modellen med tre forklaringsvariabler, inkluderte høyde før inngrep i forhold til sentrumtrees høyde (h_{TF}/h_{S-01}), konkurranseindeks (KI) og inngrepsintensitet (Dif_{01}) (Modell nr 21, Tabell 3). Denne modellen hadde det laveste standardavviket ($\sqrt{MSE}$) og den høyeste multiplikkorrelasjonskoeffisienten (R^2).

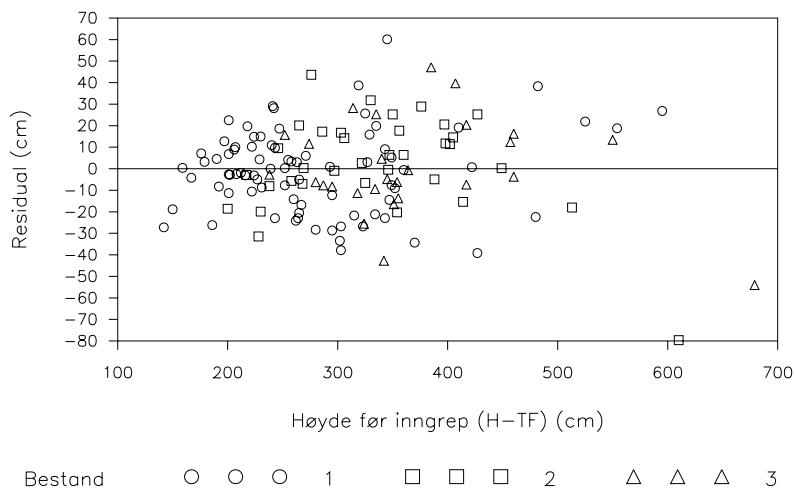
Ingen interaksjonsledd var signifikante i noen modeller og ingen modeller med flere enn tre variabler var gyldige.

Tabell 3. Modeller som forklarer oppretting av grein (T_{grein}).

Tabellen beskriver modeller som forklarer oppretting av grein (T_{grein}) med ulike kombinasjoner av variablene for høydeforhold før inngrep (h_{TF} og h_{TF}/h_{S01}), konkurranse ($n_{a<100}$ og KI), inngrepsintensitet (Dif_{01}), bonitet (I_{hS10} og H_{15}), og evt. bestand som klassevariabel. $Pr > F$ er modellens signifikansverdi, R^2 er multiplikkorrelasjonskoeffisient og $\sqrt{(MSE)}$ er modellens standardavvik. Stjernene (*) indikerer på hvilket signifikansnivå parameterestimaten er forskjellige fra 0 slik at * betyr $P < 0,05$, ** betyr $P < 0,01$ og *** betyr $P < 0,001$. Alle gyldige modeller er beskrevet i tabellen. I tillegg er noen ikke gyldige modeller beskrevet. Prinsippene for ordningen av modellene og variablene gjelder som i tabell 2. De beste modellene med 1, 2 og 3 variabler er merket med gult.

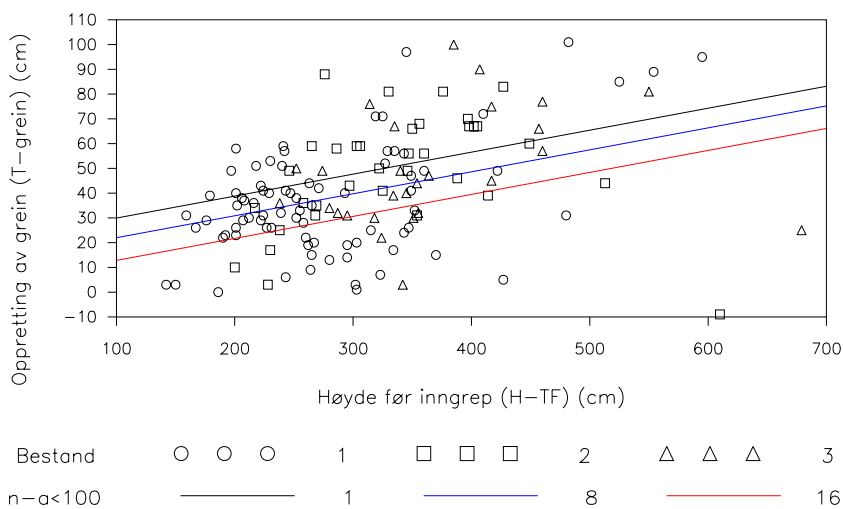
Modell Nr.	Pr > F	R ²	$\sqrt{(MSE)}$	Intersept	h_{TF}	h_{TF}/h_{S01}	$n_{a<100}$	KI	Dif ₀₁	I_{hS10}	H ₁₅	Bestand
1	<0,0001	0,1804	21,14	10,45	0,1017 ***	-	-	-	-	-	-	-
2	0,0005	0,0825	22,37	16,63 *	-	28,35 ***	-	-	-	-	-	-
3	<0,0001	0,1494	21,69	25,55 **	-	27,55 ***	-	-	-	-	-	1: -13,4** 2: -2,58 3: 0,0/**
4	0,0006	0,0775	22,47	52,34 ***	-	-	-1,592 ***	-	-	-	-	-
5	0,0425	0,0279	23,07	49,25 ***	-	-	-	-0,0885 *	-	-	-	-
6	0,0023	0,0617	22,67	24,84 ***	-	-	-	-	0,0817 **	-	-	-
7	0,0013	0,1034	22,31	33,64 ***	-	-	-	-	0,0597 *	-	-	1: -8,47 2: 2,65 3: 0,0/*
8	0,2286	0,0099	23,28	30,01 **	-	-	-	-	-	0,2821	-	-
9	0,1927	0,0116	23,26	27,91 **	-	-	-	-	-	-	1,843	-
10	<0,0001	0,1809	21,21	9,441	0,0979 ***	2,447	-	-	-	-	-	-
11	<0,0001	0,2185	20,71	22,15 **	0,0888 ***	-	-1,136 *	-	-	-	-	-

Modell Nr.	Pr > F	R ²	√(MSE)	Intersept	h _{TF}	h _{TF} /h _{S01}	n _{a<100}	KI	Dif ₀₁	I _{hS10}	H ₁₅	Bestand
12	<0,0001	0,2135	20,78	19,16 **	0,1003 ***	-	-	-0,0950 *	-	-	-	-
13	<0,0001	0,1826	21,19	8,72	0,0957 ***	-	-	-	0,0174	-	-	-
14	<0,0001	0,1351	21,79	31,68 ***	-	21,71 **	-1,346 **	-	-	-	-	-
15	0,0011	0,0933	22,32	24,96 *	-	24,65 **	-	-0,0576	-	-	-	-
16	<0,0001	0,2051	20,90	-18,76	-	39,81 ***	-	-	0,1219 ***	-	-	-
17	<0,0001	0,1370	21,81	35,74 ***	-	-	-1,569 ***	-	0,0802 **	-	-	-
18	<0,0001	0,1405	21,77	31,09 ***	-	-	-	-0,1604 ***	0,1191 ***	-	-	-
19	<0,0001	0,2239	20,72	19,99 *	0,0786 *	-	-1,194 **	-	0,0278	-	-	-
20	<0,0001	0,2423	20,48	-3,92	-	33,52 ***	-1,133 *	-	0,1145 ***	-	-	-
21	<0,0001	0,2524	20,34	-7,30	-	33,91 ***	-	-0,1263 **	0,1454 ***	-	-	-



Figur 15. Residualplott over modellen for oppretting av grein (T_{grein}).

Forklaringsvariablene i modellen er høyde før inngrep (h_{TF}) og antall trær innen 1m radius ($n_{a<100}$) (Modell nr 11, Tabell 3). Residual = målt oppretting av grein – beregnet oppretting av grein.



Figur 16. Sammenhengen mellom oppretting av grein (T_{grein}) og høyde før inngrep (H_{TF}).

Det er tegnet inn regresjonslinjer etter parameterestimaterne i modell nr 11 i Tabell 3 med tre ulike verdier for antall trær innefor 1 m radius ($n_{a<100}$).

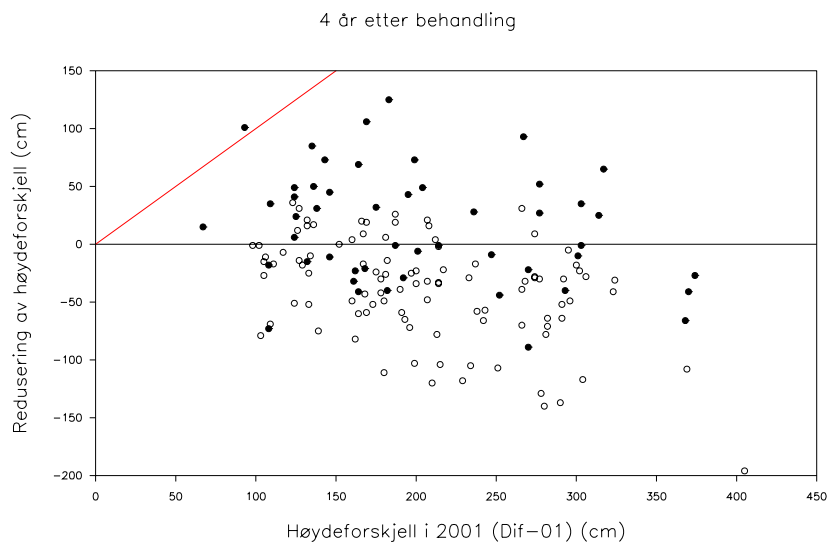
3.6 Vekst hos toppkappet tre i forhold til sentrumstre

Etter 4 år var ett sentrumstre av totalt 49, forbivokst av et toppkappet nabotre. Etter en lineær ekstrapolering av høydeveksten som beskrevet, ville 3 (6 %) bli forbivokst etter 10 år og etter 15 år ville 7 (14 %) bli forbivokst. Etter 4 år hadde 53 % av sentrumstrærne hatt en lavere høydeøkning enn det høyeste toppkappede nabotreet. Denne andelen ble 45 % etter 10 år og 41 % etter 15 år (Figur 17 og 18). Grunnen til at denne andelen forandrer seg er at høydeøkningen første året som er en samlet effekt av at greina retter seg oppover og det første toppskuddet, ikke er med i beregningen av framtidig vekst. Som vist var denne høydeøkningen større enn seinere års høydevekst.

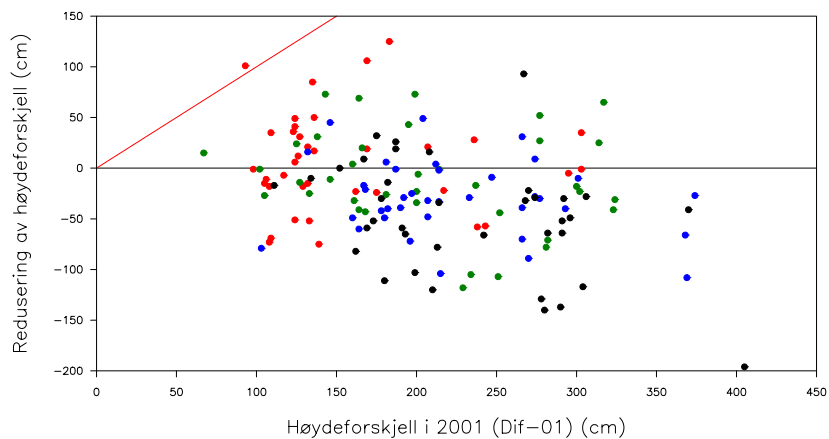
Høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde i 2001 (Dif_{01}) er brukt som forklaringsvariabel i figurene fordi det er enklere å relatere til praksis enn konkurranseindeks, selv om konkurranseindeks korrelerte bedre med veksten hos de toppkappede trærne (Figur 17 og 18). Det var en signifikant negativ sammenheng mellom høydeforskjell etter behandling (Dif_{01}) og redusering av dette høydeforspranget etter 4 år ($p < 0,0001$, $R = -0,33$). Denne sammenhengen ble enda sterkere etter ekstrapoleringen til 10 år ($p < 0,0001$, $R = -0,42$) og 15 år ($p < 0,0001$, $R = -0,43$) etter behandling. Sannsynligheten for at de toppkappede trærne skulle innhente sentrumstreet etter 10 og 15 år, økte med økende høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde i 2001 (Dif_{01}) (Figur 19). Ingen toppkappede trær som var kappet mer enn 2,2 m under toppen på sentrumstreet, lå an til å ta igjen sentrumstreet innen 15 år etter behandling i følge ekstrapoleringen.

Den halvparten av alle toppkappede trær som hadde høyest konkurranseindeks, utgjorde kun 30% av alle toppkappede trær som hadde hatt større høydeøkning enn sentrumstreet etter 4 år. Ekstrapoleringen av veksten antydte at denne andelen sank ytterligere til 21 % etter 10 år og 17 % etter 15 år (Figur 17 og 18).

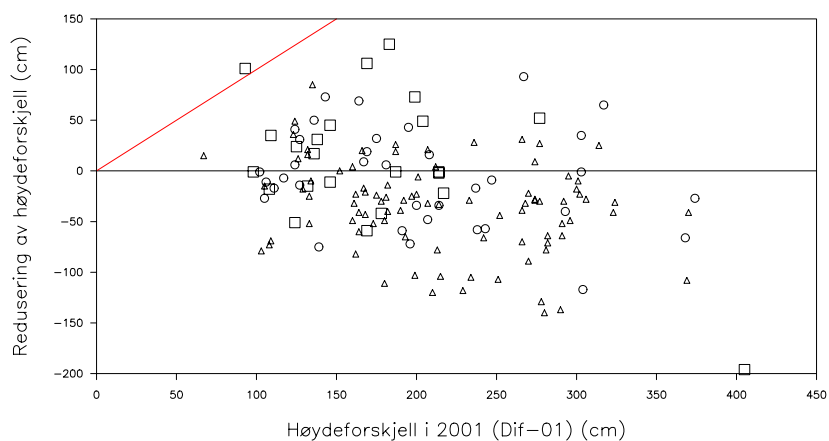
60 % av de toppkappede trærne hadde vært mer enn 10 % mindre enn sentrumstreet før behandling. Disse trærne utgjorde likevel bare 41 % av trærne som hadde hatt en større høydeøkning enn sentrumstreet etter 4 år (Figur 17). Ekstrapoleringen antydte at denne andelen ville synke til 32 % etter 10 år og 29 % etter 15 år (Figur 18).



A) Sentrumtreets høyeste toppkappede nabotree er markert med fylte sirkler.



B) Konkurransklasse ● ● ● 1 ● ● ● 2 ● ● ● 3 ● ● ● 4

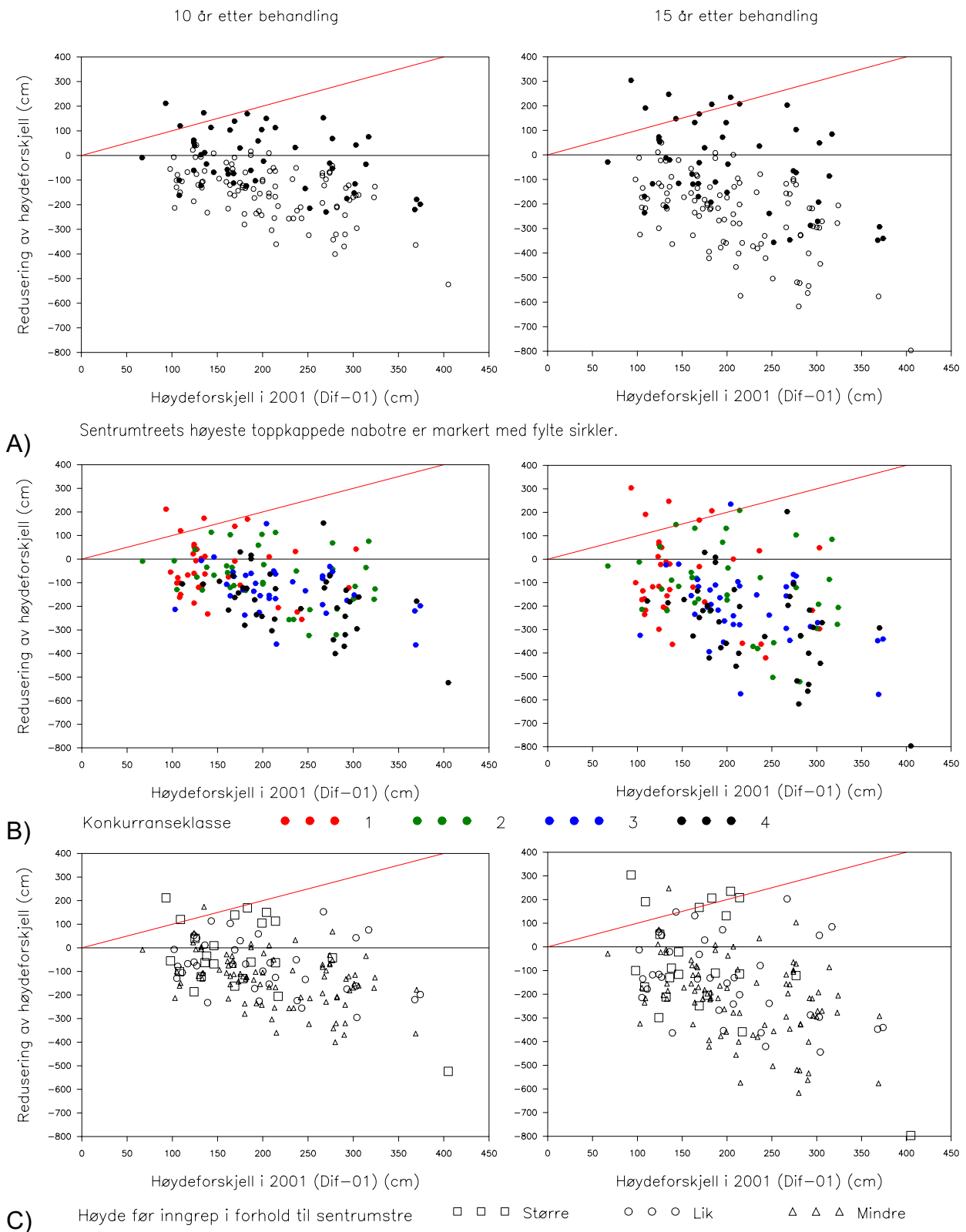


C) Høyde før inngrep i forhold til sentrumstre □ □ □ Større ○ ○ ○ Lik △ △ △ Mindre

Figur 17. Høydeutvikling hos toppkappede trær i forhold til sentrumstre etter 4 år.

X-aksen viser høydeforskjellen mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde i 2001 (Dif_{01}), også kalt inngrepsintensitet. Y-aksen viser hvor mye av dette høydeforspranget som er innhentet i cm

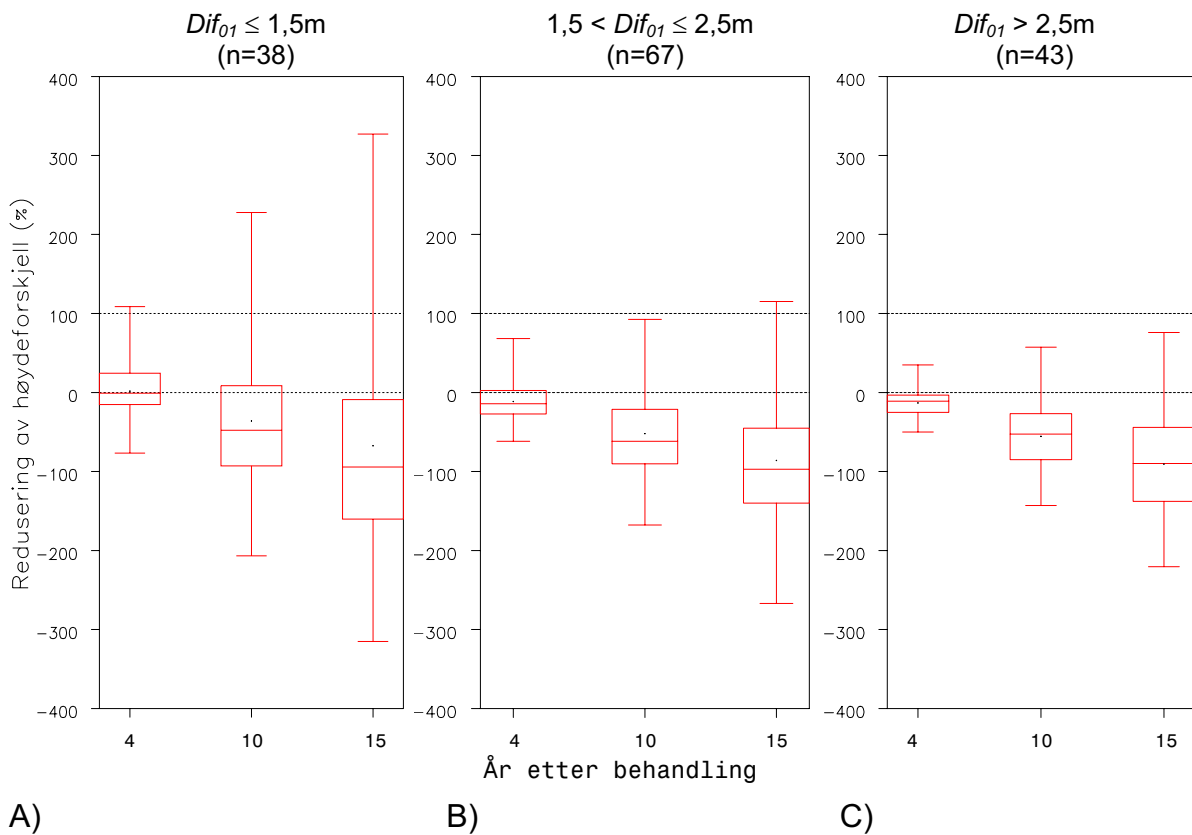
etter 4 år. Når redueringen av høydeforspranget er over 0 cm, betyr det at det toppkappede treet har hatt en større høydeøkning enn sentrumstreet. Når redueringen av høydeforskjellen er større enn høydeforskjellen etter behandling (over skrå rød linje), betyr det at det toppkappede treet har innhentet sentrumtreets høyde. Hver observasjon representerer et toppkappet tre ($n=148$). I Figur A er det toppkappede treet som var høyest etter 4 år på hver flate, framhevet for å vise hvor mange av sentrumstrærne som er i ferd med å bli tatt innpå av minst ett toppkappet nabotre. I Figur B er det indikert hvilken konkurranseklasse hver observasjon tilhører. Konkurranseklassene indikerer hvilket kvartil av konkurranseindeksverdiene (KI) i materialet det toppkappede treet tilhører. Konkurranseklasse 1 har lavest konkurranse og konkurranseklasse 4 har høyest konkurranse. I Figur C er det vist om det toppkappede treet var like stort ($n=36$) som sentrumstreet ($\pm 10\%$) før behandling eller om det var mer enn 10% større ($n=23$) eller mer enn 10% mindre ($n=89$) enn sentrumstreet før behandling.



Figur 18. Ekstrapolerte høydeforhold mellom toppkappet tre og sentrumstre fram til 10 og 15 år etter behandling.

Figuren viser hvor mye av høydeforspranget som er redusert etter 10 år (til venstre) og 15 år (til høyre). Observasjoner over den røde linjen viser at det toppkappede treet har innhentet sentrumstreet. I figur A er kun det høyeste toppkappede treet på hver flate framhevet for å vise hvor

mange av sentrumstrærne som var i ferd med å bli innhentet av minst et toppkappet nabotre. I figur B er konkurranseklasse indikert og i Figur C er høyde i forhold til sentrumstre før behandling indikert.



Figur 19. Utviklingen av høydeforskjellen mellom alle toppkappede trær og sentrumstre.

Y-aksen viser hvor stor andel av høydeforskjellen mellom kappehøyde og sentrumtreets høyde etter behandling (Dif_{01}) som er innhentet av det toppkappede treet etter 4 år eller vil bli innhentet 10 og 15 år etter behandling i følge en lineær ekstrapolering. Materialet er delt i tre strata etter Dif_{01} ved 1,5 m og 2,5 m.

4 Diskusjon

4.1 Vekstforløp hos toppkappede trær

Det var stor variasjon i vekst hos de toppkappede trærne. Samlet høydeutvikling for levende toppkappede trær 4 år etter behandling varierte mellom 23 og 303 cm. Det betyr at toppkappede nabotrær i enkelte tilfeller kan være en fortsatt konkurrent for det fristilte treet i framtiden, mens de i andre tilfeller nesten stopper helt opp i veksten eller dør straks etter toppkapping.

Resultatene fra denne undersøkelsen kan tyde på at det nye toppskuddet ikke vokser som et normalt toppskudd før i andre vekstsesong etter behandling. I bestand 1 og 2 var veksten redusert første året og stabil fra og med andre året. Apikal dominans er det forholdet at bare et skudd (toppskuddet) vokser oppover og strekker seg vertikalt mot lyset, mens sideskudd som danner greiner vokser saktere enn toppskuddet og i en mer horisontal retning. Denne effekten blir styrt av plantehormoner, og særlig viktig er konsentrasjonen av auxin som produseres i toppskuddet. Når toppen fjernes ved toppkapping, vil en av de øverste greinene rette seg oppover og ta over apikaldominansen og etter en viss tid, vokse som et normalt toppskudd. Hypotesen om at veksten blir forsinket første året etter toppkapping støttes av resultatene fra denne studien, men det kunne ikke påvises at denne effekten gjelder utover første vekstsesong. I bestand 3 så veksten fortsatt ut til å være stigende etter 4 år. Materialet herfra er lite, men det kan bety at denne forsinkelsen også kan vare i flere enn et år i noen tilfeller. Muligens kan forholdet ha en sammenheng med høyere totalalder eller noe lavere bonitet i bestand 3 enn i de to andre bestanda. Fordi både behandling og måletidspunkt er det samme for alle observasjonene, kan det også være klimaforskjeller mellom vekstsesongene som spiller inn på resultatene uten at det blir fanget opp i analysen.

Uansett ble denne effekten mer enn veid opp for ved effekten av at greina som danner det nye toppskuddet, rettet seg oppover som vist i Figur 11. Summen av oppretting av grein og toppskuddlengde første året var signifikant høyere enn årlig høydevekst seinere. Selv om toppskuddveksten blir forsinket første året etter toppkapping, blir total høydeøkning snarere framskyndt når oppretting av grein taes med i beregningen.

I bestand 1 og 2 er gjennomsnittlig høydevekst siste tre år etter behandling brukt i framskrivningen av høyder for toppkappede trær. Resultatene tydet ikke på noen synkende eller stigende trend de siste tre årene. Det foreligger, så langt jeg har klart å spore, ingen litteratur om vekstforløpet for toppkappede grantrær. Det er derfor vanskelig å antyde noe om systematisk feil verken i positiv eller negativ retning. I bestand 3 er bare siste to års toppskuddlengder inkludert i beregningen fordi det er en fortsatt stigende trend i toppskuddlengdene. Hvis denne trenden fortsetter, kan det bety at framtidige høyder for toppkappede trær er noe underestimert i bestand 3.

Det kan være at tilfeldige feil ved estimering av framtidige høyder for toppkappede trær er noe større enn for sentrumstrærne fordi færre års toppskudd er inkludert i beregningen.

Materialet inkluderer ikke mer enn tre toppkappede trær som har dødd i perioden mellom behandling og oppmåling. Dette materialet egner seg derfor lite til å si noe om den langsiktige overlevelsen hos toppkappede trær, selv om man kan antyde at mortaliteten på kort sikt synes å være meget begrenset (2 %) ut fra dette materialet. Det kan tenkes at mortaliteten kunne vært høyere om tetthet eller bestandshøyde ved behandling hadde vært høyere. Spørsmål om overlevelse vil derfor ikke bli nærmere behandlet her.

4.2 Vekstforløp hos sentrumstrær

I bestand 1 og 2 var toppskuddlengdene hos sentrumstrærne økende fram til 2001 (Figur 12). Dette er sannsynligvis en alderseffekt. Med alderseffekt menes her at veksten endrer seg med alderen avhengig av treslagets vekstrytme. Under normale vekstforhold er vekstkurven for gran sigmoid slik at høydeveksten først er økende fram til en hvis alder, og seinere avtagende (Strand 1968). Fasen med økende høydevekst varer i følge Børset (1985) fram til 7-8 meters høyde. Det betyr at trærne i dette materialet skal ha vært i en alder med økende høydevekst fram til måletidspunkt. Dette forklarer de økende toppskuddlengdene fra 1996 fram til 2001 i bestand 1 og 2. I bestand 3 er det ingen slik økning. Det har sannsynligvis sammenheng med at dette var et eldre bestand (totalalder 22 år mot 16 år i bestand 1 og 2) slik at trærnes høydevekst var i en mer lineær fase i forhold til alderen i de siste 10 årene.

Ved å ekstrapolere høydeveksten lineært slik det er gjort her, er det en fare for at en alderseffekt gir en systematisk feil i resultatene. Men i følge bonitetskurvene (Tveite 1977) har gran en nesten lineær høydevekst fram til 20 års alder i brysthøyde på bonitet G17. Disse bonitetskurvene begynner ved 5 års alder i brysthøyde. Hvis høydeveksten ikke er økende etter 7-8 meters høyde, kan man anta at alderseffekten på framtidig vekst hos trærne i materialet er liten slik at systematisk feil på grunn av at man forutsetter en lineær vekst de neste 10 årene blir liten.

Toppskuddlengdene hos sentrumstrærne antydte en synkende trend i høydeveksten de første tre årene etter behandling. Dette stemmer godt med hvordan Brantseg (1962) beskriver høydevekstreaksjon hos gran etter en regulering av treantallet i ungskog. Han skriver at veksten avtar de første 2-3 årene etter reguleringen for så å bygge seg opp igjen. Denne nedgangen forklarer han med en slags lyssjokkeffekt: En stor del av nålene på treet er skyggenåler. Disse nålene visner når de blir utsatt for mye lys etter en regulering, mens de nye nålene som vokser ut er lysnåler. Derfor tar det 2-3 år før treet får akklimatisert seg til nye lysforhold. Denne midlertidige høydevekstreduksjonen etter regulering kan alternativt forklares som en allokeringseffekt ved at et

tre prioriterer vekst i krone og stammediameter framfor høydevekst etter en fristilling for å øke stabiliteten.

Høydeveksten siste året (4. året etter behandling) var høyere enn 3. året etter behandling hvilket kan tyde på en oppgang i høydeveksten igjen. Likevel var høydeveksten siste året fortsatt lavere enn før behandling. Etter perioden på 2-3 år med høydevekstreduksjon, vil det i følge Brantseg (1962), følge en periode med en høydevekst over det ”normale” (urørt kontroll). Dette forklarer han med en gjødslingseffekt og redusert rotkonkurranse som gir en midlertidig bonitetsforbedring. Varigheten av denne midlertidige bonitetsforbedringen kan ikke Brandtseg (1962) presisere, men han antar at høydeveksten etter en slik bølgegang vil falle tilbake på det ”normale”. Han antyder at høydevekstreduksjonen (forskjell fra urørt kontroll) de første 2-3 år er mindre enn høydevekstøkningen slik at etter denne bølgegangen i høydeveksten har et regulert bestand hatt en større sammenlagt høydevekst enn en urørt kontroll. Etter toppkappingen i dette materialet var dødeligheten hos toppkappede trær svært liten. Man kan anta at solinnstrålingen til humuslaget heller ikke ble økt i særlig grad etter toppkapping. Hvis denne midlertidige bonitetsforbedringen er en gjødslingseffekt og effekt av redusert rotkonkurranse slik Brantseg (1962) beskriver det, er det rimelig å forvente at denne effekten var mindre i dette materialet sammenlignet med hva den ville vært etter en regulering på tradisjonell måte. Dette kan være grunnen til at høydeveksten fjerde året etter behandling fortsatt var lavere enn før behandling.

Ved framskrivningen av høydene for sentrumstrærne har det her blitt brukt et gjennomsnitt av siste 5 år. Det vil si 4 år etter behandling og et år før behandling. Hvis høydeveksten de neste årene etter måling blir større enn ”normalt”, slik Brantseg (1962) antyder, kan det bety at framtidige høyder for sentrumstrærne er underestimert. At høydeveksten siste året før behandling (2001) er inkludert i beregningen, vil kompensere for litt av denne feilen fordi gjennomsnittlige toppskuddlengder for alle sentrumstrærne var høyest dette året. Som nevnt er det også sannsynlig at en midlertidig bonitetsforbedringseffekt vil være liten etter toppkapping. Den systematiske feilen ved framskrivning av høydevekst hos sentrumstrærne vil dermed neppe bli stor. Likevel bør man her ta forbehold om at framtidige høyder hos mange av sentrumstrærne kan være noe underestimert på grunn av denne behandlingseffekten.

4.3 Forklaring av høydevekst hos toppkappede trær

4.3.1 Konkurransen

Resultatene viste at konkurranse fra nabotrær hadde en signifikant effekt på høydeveksten hos de toppkappede trærne etter reguleringen. Eriksson (1976) beregnet også indekser for konkurranse på ulike måter for enkelttrær i ung gran- og furuskog. Han beregnet konkurransen ut fra avstand og retning til nabotrær og deres høyde og høyde hos subjektreet som konkurranseindeksen skulle beregnes for. I hans materiale var det liten eller ingen effekt av konkurranse fra nabotrær som stod mer enn 3 m unna. Det kan tyde på at effekten av at trær utenfor 3 m radius her ikke er inkludert i beregningen av konkurranseindeks, ikke vil være stor. Eriksson (1976) fant imidlertid bare effekt av konkurranse på diameterveksten selv om han ikke kunne avvise at det også hadde effekt på høydeveksten. Dette er ikke helt sammenlignbart med resultatene i denne studien fordi Eriksson (1976) studerte effekten av konkurranse på de fristilte hovedstammene mens det i denne studien er tale om bistammer som blir satt i en mer undertrykt posisjon etter toppkapping.

Noe av ideen med toppkapping er at høydeveksten hos de toppkappede trærne skal bli redusert som en følge av konkurranse fra de høyere hovedstammene slik at de etter hvert blir utkonkurrert. Da er det en forutsetning at høydeveksten blir påvirket av konkurranse. Denne studien støtter hypotesen om at høydeveksten hos de toppkappede trærne blir påvirket av konkurranse fra nabotrær.

Konkurranseindeks beskriver situasjonen rett etter behandling. Det er likevel usikkert om det egentlig er situasjonen før behandling eller etter behandling eller en kombinasjon av disse som har effekt på veksten. Konkurranse før inngrepet vil ha effekt på barmengden under kappepunktet. Når et tre har lite grønt bar nederst på krona vil en mye større andel av assimilasjonsapparatet bli fjernet ved toppkapping og toppkappingen vil dermed muligens bli mer traumatisk for treet. På den måten kan det tenkes at konkurransesituasjonen før inngrepet også har en effekt på vekstpotensialet etter toppkapping.

Det var ikke mulig å skille mellom effekt av overjordisk eller underjordisk konkurranse i dette materialet. Den beregnede konkurranseindeksen (KI) og antall trær innenfor 1 m radius ($n_{a<100}$) som hadde til hensikt å forklare underjordisk konkurranse, var aldri begge signifikante i samme modell. Det er sannsynlig at begge variablene reflekterer noe av både underjordisk og overjordisk konkurranse.

4.3.2 Toppskudd

Både konkurranseindeksen (KI) og høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumstre i 2001 (Dif_{01}) forklarte mye av variasjonen i vekst hos toppkappede trær. Et mål for lokalitetsindeks på prøveflatenivå (I_{hS10}) reduserte mye av feilen når det ble inkludert som forklaringsvariabel. Den negative effekten av inngrepsintensitet (Dif_{01}) var sannsynligvis også i alle fall delvis en effekt av konkurranse. De to variablene var positivt korrelert. Når kappehøyden er lavere under toppen på det fristilte framtidstreet er det tenkelig at konkurransesituasjonen blir dårligere for det toppkappede treet. Derfor er det en logisk sammenheng mellom den beregnede konkurranseindeksen og inngrepsintensitet (Dif_{01}). Likevel er begge variablene signifikante i samme forklaringsmodell. Det betyr at høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumstre i 2001 (Dif_{01}) forklarer en del av variasjonen i veksten hos de toppkappede trærne som ikke blir forklart av konkurranseindeksen (KI) og motsatt. Hypotesen om at inngrepsintensitet (Dif_{01}) påvirker høydeveksten hos toppkappede trær støttes av denne studien. Ligné (2004) viste i en studie på toppkapping i bjørkebestand at vekst hos toppkappede trær var positivt korrelert med kappehøyde og dermed også høydeforskjell mellom fristilt tre og kappehøyde.

Høyde hos det toppkappede treet før inngrepet (h_{TF}) alene hadde liten effekt på høydeveksten etter inngrepet. Likevel var de to variablene høyde før inngrep (h_{TF}) og høyde før inngrep i forhold til sentrumtreets høyde ved inngrep (h_{TF}/h_{S01}) svært signifikante sammen i en modell med de to andre variablene konkurranseindeks (KI) og lokalitetsindeks (I_{hS10}). I denne modellen med fire variabler var parameteren for h_{TF} negativ og parameteren for h_{TF}/h_{S01} var positiv. Dette tyder på at små trehøyder og høy sosial posisjon før det toppkappede treet før inngrepet ga størst vekst hos det toppkappede treet mens lav sosial posisjon før inngrepet sammen med store trehøyder ga minst vekst. Dette skyldes trolig at store trehøyder er forbundet med stor høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumstre, hvilket setter det toppkappede treet i en dårligere konkurransesituasjon som nevnt tidligere. Det kan også tenkes at ved små trehøyder er det større forskjell i barmengde under kappehøyde mellom dominerende og undertrykte trær enn ved større trehøyder. Hypotesen om at sosial status før inngrepet har effekt på veksten hos toppkappede trær støttes av denne studien.

4.3.3 Oppretting av grein

Prosessen rundt oppretting av grein etter toppkapping er lite beskrevet i litteraturen. Høydegevinst på denne måten skjer bare første året og bidrar derfor ikke til noen vesentlig del av samlet høydeutvikling på lang sikt. Derfor er ikke dette like interessant som toppskuddlengdene. Likevel er denne delen av høydeutviklingen skilt ut fordi resultatene tyder på at den påvirkes av andre faktorer enn toppskuddlengdene. Dessuten kunne oppretting av grein i enkelte tilfeller gi over en meter i høydegevinst, hvilket kan redusere høydeforspranget til det fristilte treet betraktelig.

Modellene som best forklarte oppretting av grein var enten modellen med de to variablene høyde før inngrep (h_{TF}) og med konkurranse ($n_{a<100}$) eller modellen med de tre variablene høydeforhold mellom toppkappet tre og sentrumstre før behandling (h_{TF}/h_{S01}), høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumstre etter behandling (Dif_{01}) og konkurranse (KI).

Man kan anta at høyde før inngrep (h_{TF}) henger godt sammen med alder, og dermed lengden på øverste grein under kappepunktet ved behandlingstidspunkt. Denne størrelsen er ikke målt i materialet, men er sannsynligvis årsaken til den gode sammenhengen mellom oppretting av grein (T_{grein}) og høyde før inngrep (h_{TF}). Det er også logisk at dominerende trær har lengre greiner enn medherskende og undertrykte trær. Derfor er det naturlig at parameteren er positiv for relativ høyde før inngrep (h_{TF}/h_{S01}). Denne variabelen var imidlertid ikke signifikant sammen med høyde før inngrep (h_{TF}), muligens fordi de to variablene beskriver noe av den samme variasjonen. Derimot var relativ høyde før inngrep svært signifikant i en modell sammen med høydeforskjell etter behandling (Dif_{01}), som også hadde en signifikant positiv parameter. Grunnen til at modellens forklaringsverdi økte når variabelen høyde før inngrep (h_{TF}) ble erstattet med de to variablene høydeforhold før inngrep (h_{TF}/h_{S01}) og høydeforskjell etter inngrep (Dif_{01}), kan være at disse to variablene sammen varierer med både relativ og absolutt høyde før inngrep og kappehøyde uten at de forklarer den samme variasjonen. Større høyde før inngrep gir nødvendigvis enten høyere relativ høyde før inngrep (h_{TF}/h_{S01}) eller større høydeforskjell etter inngrep (Dif_{01}) eller en høyere kappehøyde.

Alle de tre nevnte variablene for høydeforhold (h_{TF} , h_{TF}/h_{S01} og Dif_{01}) forklarer sannsynligvis bare lengden på øverste grein under kappepunktet. Det kan tenkes at konkurranse fra nabotrær kan påvirke greinas evne til å bøye seg opp, men sammenhengen med konkurranse ($n_{a<100}$ og KI) i dette materialet kan også være et resultat av at konkurransen påvirker greinlengden snarere enn greinas faktiske evne til å bøye seg opp.

4.4 Vekst hos toppkappet tre i forhold til sentrumstre

4.4.1 Sammenligning av vekst

Etter 4 år hadde ett av totalt 49 sentrumstrær blitt forbivokst av et toppkappet nabotre. En lineær ekstrapolering av høydene framover i tid antydte at 7 av sentrumstrærne ville bli forbivokst innen 15 år etter behandlingen. Over halvparten (53 %) av sentrumstrærne hadde hatt en mindre høydeøkning enn det høyeste toppkappede nabotreet etter 4 år slik at høydeforspranget hadde minket siden toppkappingen. Andelen av sentrumstrærne hvor høydeforspranget hadde minket, var i følge ekstrapoleringen noe lavere 10 år etter behandling (45 %) og 15 år etter behandling (41 %). Høydeøkningen første året var større enn seinere års høydevekst og denne høydeøkningen ble ikke inkludert i ekstrapoleringen av høydeforhold framover i tid. Derfor sank andelen sentrumstrær hvor høydeforspranget var blitt mindre siden toppkappingen.

Hypotesen om at toppkappede trær har lavere høydevekst enn de fristilte trærne, kan ikke bekreftes av denne studien. Når trusselen fra de toppkappede trærne er så stor som antydte i dette materialet, kan det virke som denne metoden ikke er hensiktsmessig i granbestand. Resultatene står i kontrast til funn i furu og bjørk. Karlsson & Albrektson (2000a) studerte effekten av toppkapping i bjørk ved bestandshøyde 1,8 m. Toppkapping med to ulike kappehøyder, ingen behandling og tradisjonell behandling (kapping rett over bakkenivå) ble sammenlignet. Tre år etter behandling konkluderte de med at når høydeforskjellen mellom kappehøyde og høyde hos det fristilte treet var 1,1 m etter behandling, stod ikke det fristilte treet i fare for å bli forbivokst av toppkappede nabotrær. I behandlingsalternativet med en høydeforskjell på 0,6 m, var risikoen noe større. Ligné (2004) som analyserte de samme feltene 7 år etter behandling, kunne konstatere at de fristilte trærne ikke stod i fare for å bli forbivokst av toppkappede nabotrær selv når høydeforskjellen var 0,6 m etter behandling. Michold (1991) som analyserte to feltforsøk med toppkapping av furu gir ingen konklusjon for minste anbefalte høydeforsprang, men han antyder at overlevelsen hos de toppkappede trærne faktisk ble for liten når høydeforspranget var større enn 1,5 m eller antall gjenstående levende greinkranser var mindre enn 4. Resultatene fra Sverige kan tyde på at toppkappingsmetoden er mer effektiv i bjørk og furu da de toppkappede nabotrærne viser en mer begrenset evne til å innhente det fristilte treet. I det minste må metoden modifiseres noe i granbestand i forhold til de anbefalinger som er gitt for metoden i bjørkebestand (Ligné 2004) og furubestand (Michold 1991).

4.4.2 Inngrepsintensitet

Resultatene tydet på at risikoen for overvekst kan reduseres ved å operere med en økt høydeforskjell mellom fristilt tre og toppkappet nabotre. Når denne høydeforskjellen er stor vil det ta lengre tid før framtidstreet eventuelt blir tatt igjen. I tillegg kommer effekten av at konkurransesituasjonen blir dårligere for det toppkappede treet og som vist vokser toppkappede trær saktere ved større høydeforskjell. Hypotesen om at økt inngrepsintensitet gir redusert risiko for overvekst, støttes av denne studien. Ingen trær som ble kappet mer enn 2,5 m under sentrumtreets topp, ville ta igjen sentrumstreet innen 15 år etter behandling i følge ekstrapoleringen som ble foretatt. Kanskje er det nødvendig med en så stor høydeforskjell, men dette er vanskelig å konstantere fordi det dessverre er litt få observasjoner med høydeforskjell over 2,5 m.

Denne høydeforskjellen kan avgjøres ved kappehøyde, bestandshøyde ved inngrep og seleksjon av framtidstrær. Mulighetene for å justere denne høydeforskjellen ved kappehøyde er begrenset av hva som er behagelig og effektiv arbeidshøyde med de aktuelle arbeidsredskapene. Gjennomsnittlig kappehøyde i dette materialet var 1,5 m og høyeste og laveste kappehøyde var henholdsvis 2,25 m og 0,73 m.

Ved å velge bestandsalder og dermed bestandshøyde ved inngrepstidspunkt, har man større muligheter til å justere høydeforskjell mellom kappehøyde og høyde hos fristilt tre. Gjennomsnittlig høyde hos sentrumstrærne ved behandlingstidspunkt i dette materialet var 3 m i bestand 1, 3,5 m i bestand 2 og 4,5 m i bestand 3. For å oppnå en høydeforskjell på minst 2,5 m med en kappehøyde på 1,5 m, må høyden på trærne som skal fristilles være minst 4 m. Bestandshøyde som oftest er angitt i overhøyde, må være høyere enn dette avhengig av variasjonen i bestandet. For å unngå stor risiko for overvekst, betyr dette at et inngrep med denne metoden bør gjøres relativt seint i bestandsutviklinga i forhold til det som ofte er anbefalt for ungskogpleie i gran (Brantseg 1962, Slåttå 1978). Både Moss (2004) og Andersen (pers. medd. 2006) hevder deres erfaring tilsier at risikoen for overvekst reduseres betraktelig om inngrepet gjøres seinere i omløpet og ved bestandshøyde over 4 m. Det som avgjør øvre grense for bestandshøyde som er hensiktsmessig å behandle med denne metoden, er redskapet man bruker og hvor store dimensjoner man kan kappe på en effektiv måte. Moss (2004) hevder at han erfaringsmessig ”ikke bruker merkbart lengre tid om en venter til bestandet blir noe eldre” og at ”bestand i 6-8 meters høyde går veldig greit å behandle etter toppkappingsprinsippet. Ved såpass sein toppkapping er risikoen for å ikke toppe hardt nok mye mindre.”

Fordi det alltid vil være en hvis høydevariasjon i et ungskogbestand, vil man kunne øke høydeforskjellen mellom kappehøyde og høyde hos fristilt tre ved å velge ut de høyeste trærne for

fristilling. I tillegg til effekten av en økt høydeforskjell, er det sannsynligvis mindre risiko for overvekst når det fristilte treet hadde en høyere sosial status før inngrepet enn de toppkappede nabotrærne. Som nevnt er høyde før inngrep hos toppkappet tre relativt til høyde hos sentrumstre (h_{TF}/h_{SOI}) positivt korrelert med både oppretting av grein (T_{grein}) og toppskuddlengder (T_{skudd}) hos det toppkappede treet. I bestand 1 hadde 57 % av sentrumstrærne minst et toppkappet nabotre som var høyere før behandling. Denne andelen var 59 % i bestand 2 og 18 % i bestand 3. Slåttå (1978) skriver om ”nedtopping” og ”nivellering” av bestandet. Med det mener han hvor langt man går i å fjerne dominerende trær i reguleringen av et bestand for å etterstrebe jevn kronehøyde og jevn horisontal fordeling av framtidstrær med kvalitetspotensial framfor produksjonspotensial. I dette materialet, særlig i bestand 1 og 2 kan man si at det har vært utført betydelig grad av nedtopping. Dette betyr sannsynligvis at mye av risikoen for overvekst her kunne vært unngått hvis seleksjonen under reguleringen hadde vært gjort annerledes. Moss (2004) hevder at hans erfaring tilsier at ”i tilfeller hvor man ønsker å ta ut framherskende trær (varger) for å gi plass til mindre trær med større kvalitetspotensial” må det ”toppes spesielt hardt”, hvilket betyr lavere kappehøyde.

4.4.3 Bestandsutvikling

Som nevnt er ideen med toppkapping å kunstig påskynde og styre en spredningsprosess på den måten at de høye fristilte trærne drar ifra de formodentlig undertrykte toppkappede trærne. Pettersson (1993) bruker forskjellen mellom overhøyde og grunnflateveid middelhøyde i bestandet som en beskrivelse av spredningen. Han mener at spredningen begynner så snart kronene møtes og bestandet lukker seg. Han hevder at spredningsprosessen er en funksjon av bestandshøyde og tetthet og at denne prosessen gir økte høydeforskjeller utover i bestandsutviklingen. Det er en interessant sammenheng at høy konkurranseindeks som er en funksjon av høyde og tetthet av nabotrær, og stor høydeforskjell mellom kappehøyde og sentrumstre er forbundet med lav risiko for overvekst i dette materialet. Fra dette er det tenkelig at inngrepstidspunkt og risiko for overvekst bør sees i sammenheng med bestandets utviklingsstadium.

Savill & Beatty (1986) beskriver en interessant skjøtselsmetode brukt i plantede sitkagranbestand i Storbritannia der bestandets utviklingsstadium på et vis tas i betraktning. Metoden går ut på å avstandsregulere én gang omtrent ved det tidspunktet bestandet lukker seg slik at kappepunktet som skal være rett over nederste levende greinkrans (d.v.s. alle greinene i kransen er grønne) blir i en høyde på mellom 1 og 2 m over bakken. Bestandshøyden ved dette tidspunktet varierer altså med plantetettheten, men de indikerer at ved en plantetetthet på 2500 tre/ha inntrer dette ved bestandshøyde rundt 5 m. Diameter i kappehøyde er da 4-5 cm. Etter dette står bestandet utynnet fram til slutthogst. De hevder at det ikke er noen fare for overvekst ved denne metoden.

Denne reguleringen blir vurdert som et alternativ til en tidlig lavtynning. Hensikten med denne formen for regulering er hovedsakelig bedre stabilitet mot vind (sammenlignet med utynnet bestand), lavere kostnader (sammenlignet med en tidlig og ulønnsom lavtynning), og bedre oppkvisting av hovedstammene.

Forskjell i både treslag og vekstforhold gjør dette ikke helt sammenlignbart med unge granbestand i Norge. Likevel kan man påstå at granas biologi generelt står nærmere sitkagran enn bjørk og furu. En ”toppkapping” etter denne metoden gir de fristilte trærne et høydeforsprang på 3 – 4 m. At dette gir liten eller ingen risiko for overvekst rimer godt med materialet i denne oppgaven. Selv om det ble omtalt som et alternativ til en tidlig lavtynning, er denne metoden kanskje noe i nærheten av hva man bør etterstrebe ved ungskogpleie med toppkappingsmetode i reine granbestand for å unngå overvekst. I videre forskning ville det være interessant å inkludere antall levende greinkranser under kappepunktet i studiet av vekst hos toppkappede trær.

Det er altså grunn til å tro at risikoen for overvekst blir minst når bestandet er lukket og spredningen allerede er litt på vei ved behandlingstidspunkt. Det kan også virke som at risikoen for overvekst øker hvis man i behandlingen prøver å ”endre retning” på spredningen ved å toppkappe dominerende trær for å fristille nabotrær med lavere sosial status.

4.5 Konklusjoner

Høydevekst hos de toppkappede trærne blir påvirket av konkurranse fra nabotrær. Man har muligheten til å påvirke høydeveksten hos de toppkappede trærne når man velger høydeforskjell mellom fristilt tre og kappehøyde. Risikoen for overvekst i dette materialet var større enn ønskelig. Likevel kan metoden være hensiktsmessig å bruke i reine granbestand med noen forutsetninger.

Ut fra dette noe begrensede materialet er det vanskelig å gi noen klare implikasjoner for kappehøyde eller minimum bestandshøyde ved inngrep. Likevel kan man si at resultatene indikerer at metoden er uegnet i reine granbestand på grunn av risiko for overvekst hvis man ønsker å behandle bestand lavere enn 3,5 - 4 m og hvis man har et mål om en hvis nedtopping i reguleringen.

Det er grunn til å tro at nøkkelen til å unngå risiko for overvekst ligger i å ”få hjelp” fra den naturlige spredningsprosessen i bestandsutviklingen. Det vil si ved inngrep i utviklingsstadier etter at bestandet har lukket seg og ved seleksjon av allerede dominerende og medherskende trær.

For videre forskning ville det være interessant å studere vekst og overlevelse hos toppkappede trær i granbestand i et mer langsiktig perspektiv. Toppkappingsmetoden har blitt mye brukt i blandingsbestand med gran og lauv på Løvenskiolds eiendom. Det er vanskelig å spekulere i effekten av toppkapping i blandingsbestand på grunn av stor kompleksitet; Forskjellige treslag

har forskjellig vekstrytme og spredningsevne og ulik respons på edafiske forhold og interspesifikk konkurranse er ofte asymmetrisk. Derfor ville det være interessant for videre forskning å studere effekten av toppkapping og risikoen for overvekst etter en slik regulering i blandingsbestand med gran og bjørk. Vekst og kvalitet hos de fristilte trærne i lengre tidsperspektiv, bør også undersøkes. Mye av dette vil forhåpentligvis bli belyst av Skogforsks prosjekt på toppkapping av gran.

5 Litteratur

- Brantseg, A. 1962. Skogbestandets pleie. S. 355-360. I: Skogbruksboka. Bind 2. Skogskjøtsel. Red. O. Børset. Skogforlaget A/S, Oslo.
- Braastad, H & Pettersen, J. 1994. Ungskogpleie. Skogbrukets kursinstitutt. SKI.
- Braastad, H. & Tveite B. 2000. Ungskogpleie i granbestand, effekten på tilvekst, diameterfordeling, kronehøyde og kvisttykkelse. Rapport fra skogforskningen 11/00.
- Børset, O. 1985. Skogskjøtsel I – skogøkologi. Landbruksforlaget. S. 277-279.
- Eriksson, L. 1977. Competition models for individual trees after cleaning. Report 99. Swedish University of Agricultural Sciences, Stockholm, Sweden. 76s.
- Fällman, K., Ligné, D, Karlson, A. & Albrektson, A. 2003. Stem quality and height development in a *Betula*-dominated stand seven years after precommercial thinning at different stump heights. Scandinavian Journal of Forest Research 18: 145-154.
- Hagner, M. 2004. Naturkultur. Mats Hagner Förlag, Umeå, Sweden. S. 82-85.
- Haveraaen, O 1992. Ungskogpleie – Framtidsrettet tilpassing. Norsk Skogbruk (4): 28-29
- Karlsson, A & Albrektson, A. 2000a. Height development of *Betula* and *Salix* species following pre-commercial thinning at various stump heights: 3-year results. Scand. J. For. Res. 15: 359-367.
- Karlsson, A & Albrektson, A. 2000b. Røj på en högre nivå! Fakta skog nr. 9. 2s.
- Ligné, D. 2004. New technical and alternative silvicultural approaches to precommercial thinning. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå 2004. 46s.
- Michold, B. 1991. Toppkapping av bistammar i Tallungskog. Eksamensarbete i ämnet skogsskötsel. SLU. 36s.
- Moss, J. 2004. Toppkapping som alternativ metode i bestandspleie. Aktuelt fra skogforskningen. 7/04. S.8-9.
- Moss, J. 2005. Raskere ungsogpleie med toppkapping. Norsk skogbruk. 11 (05). S.10-11.
- Pettersen, N. 1993. The effect on stand development of different spacing after planting and precommercial thinning in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research. Report No. 34, 17pp.
- Savill, P. S. & Beatty, M. H. 1986. Techniques, early growth and silvicultural considerations. pp. 12-15. In: Oceanic forestry. Proceedings of a conference held in 1985. Edited by Harris, E.H.M. The Royal Forestry Society of England, Wales and Northern Ireland.
- Slåttå, L. 1978. Ungskogpleie og avstandsregulering. Rapport. Institut for skogskjøtsel, NLH, Ås.

Strand, L. 1968. Skogbrukets produksjonslære. Forelesningsnotat, NLH. Vollebekk, Ås. 88 s.

Tveite, B. 1977. Bonitetskurver for gran. Meddeleser Norsk institutt for skogforskning. 33.1: 1-84.

Vestjordet, E. 1977. Avstandsregulering av unge furu- og gran-bestand: I: Materiale, stabilitet, dimensjonsfordeling, m.v. Meddelelser Norsk institutt for skogforskning. 33.9: 363-371.