



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2019 30 stp**

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

## **Effekt av tetthet i furu på veksten til gran i eldre tosjiktede blandingsbestand**

Effect of pine density on spruce growth in old two-  
storied mixed stands

**Martin Slot**

Skogfag



## Forord

Denne oppgaven markerer slutningen på to års masterstudier på studielinjen skogfag under fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder, professor Andreas Brunner, for inspirasjon til valg av masteroppgave, for veiledning og for god oppfølging helt fra de første samtaler om valg av tema til levering av oppgaven.

Feltarbeidet ble gjort i Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) sine permanente prøveflater ved Hurdalsjøen i Hurdal Kommune, Akershus Fylke. Jeg vil gjerne takke senioringeniør Stig Støtvig for utlån av feltbøker og elektroniske feltdata.

Jeg vil gjerne takke Roar Økseter for hjelp til feltarbeidet og hjelp til beregninger i statistikkprogrammet R. Det samme gjelder Casper-Emil Tingskov Pedersen – uten deg hadde jeg fremdeles slitt med å få R til å regne for meg.

Sist men ikke minst, vil jeg takke min kone Marte Franck, selv om det ikke holder å bare si takk. Du flyttet med meg og datteren vår til Ås og vekk fra familie, venner og jobb, for at jeg kunne studere. Det er jeg veldig takknemlig for.

---

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, 15 mai 2019

Martin Slot



## Sammendrag

I dagens skogbruk er det lite fokus på tosjiktede blandingsbestand bestående av furu (*Pinus sylvestris* L.) i oversjiktet og naturlig forynget gran (*Picea abies* (L.) Karst) i undersjiktet. Disse blandingene kan levere tjenester på lik linje med andre typer treslagsblandinger.

Formålet med oppgaven var (i) å undersøke hvilken effekt tettheten i furu-oversjiktet har på veksten på enkelttrenivå til gran-undersjiktet og (ii) å undersøke hvordan tettheten i gran-undersjiktet påvirker granenes vekst på enkelttrenivå.

Det ble innsamlet data i to forsøksfelter i to nabobestand lokalisert i det sørøstlige Norge høsten 2018. Feltene er en del av Norsk Institutt for Bioøkonomi sine langsiktige forsøk og bestod av 180 år gammel furu og naturlig forynget gran på opp mot 70-80 år. Det ble registrert diameter i brysthøyde for begge treslag og trærne ble posisjonert i forhold til hverandre. Furu hadde større overhøyde enn gran, men de høyeste granene hadde vokst seg inn i furusjiktet.

Til å undersøke tilveksten på enkelttrenivå ble det brukt data fra 1992 til 2018 – til sammen fire vekstperioder. Det ble klargjort modeller som følger potential-modifier-prinsippet. Modelltypen ble brukt til å beregne enkelttrærnes grunnflatetilvekst ( $\text{m}^2/\text{tre}/\text{år}$ ) uten konkurranse, som funksjon av utgangsgrunnflate ( $\text{m}^2/\text{tre}$ ) og redusere tilveksten i henhold til konkurransebelastningen. Til dette formålet ble brukt to distanseavhengige konkurranseindekser - ett for undersjiktet og ett for oversjiktet. Ved hjelp av multiple regresjonsanalyser ble det estimert parametere til modellene.

Til å bidra til interpretning av regresjonsresultatene og gi et bilde av utviklingen til gran-undersjiktet sammenlignet med renbestand av gran, ble det brukt data om trehøyder og diameter i brysthøyde fra revisjoner tilbake til 1965.

Resultatene viste at enkelttrærnes grunnflatetilvekst reduseres i forhold til konkurransebelastningen fra de to sjikt. Konkurranse fra et undersjikt bestående gran hadde større effekt på enkeltretilveksten i gran-undersjiktet enn konkurranse fra et oversjikt bestående av furu og effekten fra furu var liten. Til slutt viste resultater for utvikling i overhøyde og middeldiameter, at gran hadde vokst ganske bra i sjiktet under furu, sammenlignet med gran i renbestand.



## Abstract

In today's forestry there is no or little interest in two-storied mixed-species stands with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing in the overstorey and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) growing in the understorey. These mixtures could provide the same services compared to other species mixtures.

The purpose of this study was to (i) describe the effects of density in the pine overstorey on spruce understorey single-tree growth, and (ii) describe the effects of density in the spruce understorey on spruce understorey single-tree growth.

Field data was collected from two sample plots in two neighbouring stands in 2018 in the southeastern part of Norway. The plots are permanent and have been surveyed by the Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO) since 1930. The plots comprised of 180 years old pine and naturally regenerated spruce approximately 70-80 years old. Diameter at breast height was measured for both species and the positions to the trees in the plots were mapped. Pine had a greater dominant height than spruce, but the tallest spruce trees had partially grown in to the overstorey.

To describe single-tree growth, data from 1992 to 2018 was used – in total four growth periods. Models following potential-modifier-principles were prepared. These models were used to calculate basal area growth ( $\text{m}^2/\text{tree}/\text{year}$ ) without competition, to each focal tree as a function of initial basal area ( $\text{m}^2/\text{tree}$ ), and two distance dependent competition indices was used to reduce potential growth. By using multiple regression analyses parameters to the models were estimated.

To help interpret the results from the regression analysis and to be able to compare spruce in two-storied mixtures with spruce in regular one-storied stands, data on tree height and diameter at breast height back from 1965 was also included.

Results showed that single-tree basal area growth was reduced according to the level of competition from the two stories. Competition from an understory of spruce reduced the growth of understorey spruce more than an overstorey of pine, and the effect of competition from the overstorey was small on single tree growth. Finally, results on development in spruce dominant height and mean diameter at breast height showed that spruce growth was reduced, but quite good compared to regular monolayered single-tree stands of spruce.

## **Innholdsfortegnelse**

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FORORD .....</b>                                       | <b>II</b> |
| <b>SAMMENDRAG .....</b>                                   | <b>IV</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                     | <b>VI</b> |
| <b>1.0 INNLEDNING .....</b>                               | <b>3</b>  |
| 1.1 MÅLFORMLERING .....                                   | 7         |
| <b>2.0 MATERIALE OG METODE.....</b>                       | <b>8</b>  |
| 2.1 STUDIEOMRÅDE .....                                    | 8         |
| 2.2 DATAINNSAMLING .....                                  | 9         |
| 2.3 KLARGJØRING AV DATA .....                             | 10        |
| 2.4 TILVEKSTMODELL .....                                  | 14        |
| 2.5 ANDRE UNDERSØKELSER .....                             | 17        |
| <b>3.0 RESULTATER.....</b>                                | <b>19</b> |
| 3.1 FELTOVERSIKT .....                                    | 19        |
| 3.2 HØYDEUTVIKLING I FURU-OVERSJIKTET .....               | 20        |
| 3.3 HØYDEUTVIKLING I GRAN-UNDERSJIKTET .....              | 20        |
| 3.4 DIAMETERUTVIKLING I GRAN-UNDERSJIKTET .....           | 21        |
| 3.5 TRÆRNES HORIZONTAL FORDELING.....                     | 22        |
| 3.6 ANALYSE AV ENKELTRETILVEKST I GRAN-UNDERSJIKTET ..... | 25        |
| 3.7 1992-1997 .....                                       | 26        |
| 3.8 1997-2006 .....                                       | 29        |
| 3.9 2006-2014 .....                                       | 32        |
| 3.10 2014-2018 .....                                      | 35        |
| <b>4.0 DISKUSJON .....</b>                                | <b>38</b> |
| 4.1 ENKELTRETILVEKST .....                                | 38        |
| 4.2 FELTOVERSIKT .....                                    | 39        |
| <b>5.0 KONKLUSJON .....</b>                               | <b>40</b> |
| <b>6.0 REFERANSER .....</b>                               | <b>41</b> |





## 1.0 Innledning

Interessen for blandingsskogbruk på internasjonalt plan er økende, men det mangler forvaltningsverktøyer i skogbruket (Coll et al., 2018, Pretzsch og Zenner, 2017).

Det er interesse for blandingsskogbruk også i Norge samtidig som det gjennom de siste årene har blitt større fokus på skogens rolle som produsent av ulike økosystemtjenester som biologisk mangfold, karbonlagring, virkesproduksjon i et klimaforandringsperspektiv og rekreasjon (DN-rapport, 2002, Lier-Hansen et al., 2013)

Tidligere forskning har undersøkt hvilke fordeler treslagsblandinger kan ha over renbestand. Studier viser at blandingsskogbruk kan bidra til blant annet økt biodiversitet, forbedre landskapsestetiske verdier og rekreative opplevelser samt sikre drikkevannsinteresser (Felton et al., 2016). I tillegg har forskning vist at karbonlagring i blandingsbestand kan være høyere enn i renbestand, især i blandinger bestående av trær med ulik skyggetoleranse (Woodall et al., 2011). Blandingsbestand kan fungere som en effektiv måte å spre risikoen for biotiske og abiotiske skader på flere treslag. Slår det feil med det ene, er det mulighet for at ett eller flere andre kan ta over. I forhold til risiko for stormskader, har en undersøkelse fra Sverige vist at blandingsbestand bestående av gran og furu nedsetter stormfalls-risikoen betydelig i forhold til gran i renbestand (Valinger og Fridman, 2011).

Gran (*Picea abies* (L.) Karst.) og furu (*Pinus sylvestris* L.) er de viktigste treslagene i Norge i dag, med tanke på hogst for salg (ssb, 2018). Hogsten av gran foregår hovedsakelig ved bruk av flatehogst og etterfølgende planting, mens for furu anvendes i større grad frøtrestilling med henblikk på naturlig foryngelse (Granhus og Eriksen, 2017). Skjøtselmetodene som hovedsakelig anvendes i dag er et resultat av mange tiår med bestandsskogbruk, med målsetning om å oppnå homogene ensaldrede renbestand.

Gran og furu har overlappende utbredelsesområde i de nordiske landene. Gran vokser oftest på mer næringsrike lokaliteter enn furu, men blandingsbestand med begge treslag oppstår naturlig og er en vanlig del av skogbildet i Sverige (Drossler, 2010). Gran er en klimakstreart, og er mer skyggetålende enn furu og vokser saktere i ungdommen. Gran er tilpasset småskalaforstyrrelser og naturlig foryngelse forekommer ofte i små huller, hvor et til tre trær forsvinner fra kronetaket (Liu Quinghong, 1991).

Konkurranse om lys, vann og næringsstoffer virker begrensende for veksten til det enkelte tre (Long et al., 2004). For gran kan både diameter- og høydetilvekst være redusert når den står under skjerm, og små trær påvirkes i større grad enn store trær (Pommerening et al., 2011). Til tross for dette har forhåndsforryngelse av gran i eldre bestand potensiale til å kunne brukes i neste omløp (Örlander og Karlsson, 2000, Metslaid et al., 2005) og naturlig forryngelse kan utvikle seg i undersjiktet i mellomaldrene og eldre furubestand.

Selv om gran kan vokse i sjiktet under furu, er det ikke tradisjon for målrettet forvaltning av slike tosjiktede blandingsbestand. Det er vanlig praksis i Norge å fjerne naturlig forrynget gran under forhåndsrydding eller senere i forbindelse med tynning av furubestand. Dette kan skyldes driftstekniske hensyn i forbindelse med maskinell skjøtsel. En annen årsak kan være at furu står på lokaliteter som vanligvis regnes som dårlige for gran og en oppfattelse av at gran kanskje ikke klarer å produsere like bra som furu over et helt omløp. Dette kan stemme på næringsfattige lokaliteter, men Rubtsov et al. (2016) studerte naturlig forrynget gran i mellomaldrene og gamle furubestand (65-150 år) på gode granboniteter i det vestlige Russland. De undersøkte når i omløpet gran-forryngelsen etableres, dens overlevelse og vekst på bestandsnivå. De fant at gran forrynget seg bra i forbindelse med tynning i yngre og mellomaldrene furubestand. Overlevelse var avhengig av lysforholdene, som var den begrensende faktoren. Lysforholdene ble vurdert også å være den begrensende faktoren for høydevekst. De dominerende granene i forsøksfeltene hadde i løpet av de 150 år fra anlegg av furubestandene delvis klart å vokse inn i furu-sjiktet og oppnådd en høyde på 32,4 meter og en diameter i brysthøyde på 38,4 cm i gjennomsnitt. Gran viste seg å være en større konkurrent til seg selv enn furu, og ujevne konkurranseforhold førte til at gran varierte mye i størrelse ved samme alder. Middeldiameteren i brysthøyde til granene i undersjiktet var mot slutten av forsøksperioden henholdsvis 25,9 og 28,9 cm i de eldste feltene og sjiktet i de to feltene hadde et stammetall på henholdsvis 139 og 111 trær per ha. Furu i de to feltene hadde på samme tidspunkt henholdsvis 181 og 163 trær per ha, med en middeldiameter i brysthøyde på 46,9 og 49,5 cm. Til sammen utgjorde gran opp mot 1/3 av det stående volum i feltene mot slutten av forsøksperioden. Studien viser at gran, når forholdene ligger til rette for det, vokser ganske bra i sjiktet under eldre furu, men sier ingenting om hvordan gran påvirker veksten til furu. Vann kan være den begrensende faktor for veksten til furu på tørkeutsatte lokaliteter (Giuggiola et al., 2018) og en studie fra Norge (Haveraaen, 1981) viste at rydding av gran undervekst i furubestand hadde positiv innvirkning på veksten til furu.

Konkurranse samt forskjeller i vekstdynamikk kan påvirke gran som vokser i blanding med furu og det finnes studier som undersøker dette. Bestandene som ble undersøkt var ensaldrede og ikke alle med tydelig sjiktning. På tross av dette, viser de likevel hvilken effekt furu kan ha på veksten til gran, og kan derfor være interessant for denne studien.

Jonsson (2001) studerte gran og furu i ensaldrede blandingsbestand på middels/lav bonitet frem til halvveis i omløpet (alder 43 år) og fant at blanding i dette tilfelle hadde negativ effekt på diameterutvikling og total bestandsvolumproduksjon for gran sammenlignet med rene granbestand. Høydetilveksten for gran hadde i ungdommen vært høyere i blandingsbestand kontra tilsvarende rene granbestand, men utlignet seg etter hvert, fordi furu vokste fortere enn granen – noe som førte til at noen av granene ble undertrykt. Lindén og Agestam (2003) undersøkte produksjonspotensialet i blandingsbestand bestående av gran og furu på middels god bonitet over et halvt omløp (40 år), og fant at det bare var liten positiv effekt på tilvekst og totalproduksjon i blandinger kontra renbestand av henholdsvis gran og furu. Furu konkluderes å ha bidratt med overproduksjon, mens gran hadde lavere volumtilvekst enn forventet. De diskuterer årsaken til granens lave tilvekst og forklarer at furu hadde vokst fortere enn gran i ungdommen, at første tynning ble gjort for sent og at dette hadde negativ effekt på granens volumtilvekst. Resultatene indikerer at gran kan ha positiv innvirkning på veksten til furu, men at tettheten til furu har innvirkning på grans vekst. Lindén og Agestam (2003) kunne ved siste måling ikke dokumentere sjiktning i blandingsbestandene, mens dataene fra Jonsson (2001) viste en tilnærmet sjiktning med gran i nederste sjikt og som kodominerende i det øverste.

Mens det er vanskelig å finne forskning som omhandler tosjiktede blandinger med gran i sjiktet under furu, er det gjort flere studier som omhandler gran under lauv. Mange av studiene fokuserer på bestandsvolumproduksjon i yngre og mellomaldrene bestand, men kan gi en indikasjon på hvordan gran kan forventes å utvikle seg, når den vokser i et nedre sjikt.

Kabzems et al. (2015) undersøkte hvordan hurtigvoksende naturlig forynget amerikansk osp (*Populus tremuloides* Michx.) påvirker plantet skyggetålende hvitgran (*Picea glauca* (Moench)) i yngre ensaldrede tosjiktede blandingsbestand. Forsøksfeltene var plassert på to lokaliteter i den nordøstlige delen av Britisk Columbia i Canada, på middels til gode lokaliteter for hvitgran. Plantetallet for hvitgran varierte fra 0 til 1500 trær per ha. Tettheten i ospeskjermen ble tidlig regulert til mellom 0 og 10.000 trær per ha. Ved bestandsalder 25 år

viste resultatene for hvitgrans middelhøyde ingen signifikant forskjell mellom feltene uten osp og 1000 osp per ha, som var på henholdsvis 9,9 m og 9,1 m. Hvitgran i felter med 2.000, 5.000 og 10.000 osp per ha hadde signifikant lavere middelhøyde som var på mellom 8,2 og 8,8 m. Middelhøyden til ospen i feltene var på mellom 13,1 m og 13,9 m. Middeldiameteren i brysthøyde til hvitgranen i feltene uten osp (16,7 cm) var signifikant forskjellig fra de øvrige feltene (9,9 m til 11,5 cm), men det var ingen signifikant forskjell mellom disse. Resultatene viste ingen signifikant effekt av ospens tetthet på hvitgranens overlevelse. Uten at blandingsbestand av hvitgran og osp er direkte sammenlignbare med blandingsbestand av furu og gran, er det likevel interessant at selv stor variasjon i tettheten i oversjiktet ikke påvirker diameter- og høydeutviklingen til hvitgran i større grad.

Tham (1994) undersøkte om og hvordan gran hemmes av bjørkeskjerm. Ved hjelp av simuleringer påviste hun at total bestandsvolumproduksjon for gran i ungdommen ikke ble redusert under skjerm bestående av 600 bjørketrær/ha sammenlignet med gran i renbestand, men bare frem til en viss alder. Simuleringene viste at reduksjonen uteble ved rettidig hogst av bjørkeskjermen (alder 25 år), men etter dette tidspunktet for hogst av skjermen (alder 25 til 40 år) økte bjørkens bestandsvolumproduksjon på bekostning av granen. I studien indikeres at det er mulig å oppnå økt bestandsvolumproduksjon i tosjiktede blandingsbestand av gran og bjørk, på grunn av forskjell i treslagenes innbyrdes vekstdynamikk. Bjørk, som er et utpreget pionertreslag, vokser fortere og produserer større volum i ungdommen enn gran, som er et utpreget klimakstreslag. Resultatene viste at gran (uansett om den sto under bjørkeskjerm eller ei) ikke hadde betydelig volumtilvekst før den nådde alder 20 år. Å la gran vokse under skjerm og bruke denne i neste omløp, kan dermed bidra til å redusere perioden hvor marken er uproduktiv sammenlignet med flatehogst etterfulgt av planting. Resultatene fra studien viser dog at bjørkeskjermens tetthet og tidspunkt for hogst av skjermen spiller inn på granens bestandsvolumproduksjon. Det samme må til en viss grad forventes å være gjeldende gran som vokser under furu, men det trengs studier som på samme måte som Rubtsov et al. (2016) undersøker veksten til naturlig forynget gran i eldre tosjiktede blandingsbestand og beskriver hvordan konkurranse påvirker veksten til gran under norske forhold.

Til å beskrive veksten til trær i tosjiktede blandingsbestand brukes ofte distanseavhengige enkelttrebaserte vekstmodeller, som inkluderer konkurranseindeks for både over- og undersjikt samt en eller flere uavhengige variabler. Dette kan være diameter, grunnflate eller trehøyde til det treet (fokustre) som man beskriver veksten til og en trenger koordinatfesting

av posisjonen til alle trær. Konkurransbidraget fra nabotrærne kan defineres som grunnflatesum eller trehøyder og brukes direkte i modellen eller transformeres til en indeks mellom 0 og 1. Posisjonen til trærne brukes til å definere hvilke trær som regnes med som konkurrenter (Miina og Pukkala, 2000) og kan brukes til å vekte eksempelvis konkurrentenes størrelse med avstanden til fokustreet.

## 1.1 Målformulering

Litteraturgjennomgangen viser at gran ved riktig skjermtetthet og på riktig lokalitet, forynges og overlever og på tross konkurranse fra et oversjikt har potensiale for vekst som kan være av interesse for skogbruket. Med hensyn til eldre furubestand under norske forhold, som ikke er skjøttet med tanke på å fremme granforyngelse og dennes vekst, er det fremdeles usikkert hvordan naturlig forynget gran utvikler seg over tid og reagerer på konkurranse fra furusjiktet og seg selv. Ved å undersøke dette, kan denne studien bidra til økt interesse for tosjiktede blandingsbestand av gran og furu.

Gjennom bruk av tilvekstdata fra tosjiktede blandingsbestand bestående av gran og furu og tilpasning av tilvekstmodeller er hovedformålet med denne oppgaven derfor (i) å undersøke hvilken effekt tettheten i furu-oversjiktet har på veksten på enkelttrenivå til gran-undersjiktet og (ii) å undersøke hvordan tettheten i gran-undersjiktet påvirker granenes vekst på enkelttrenivå.

## 2.0 Materiale og metode

### 2.1 Studieområde

Feltarbeidet til denne studien ble gjort i to permanente prøveflater i Hurdal kommune, Akershus fylke (figur 1). Feltene ligger som naboer til hverandre og er derfor bare markert med ett punkt på kartet.



Figur 1. Feltenes plassering er markert på kartet med én markør. Kartet er laget i Google Maps.

Begge prøveflatene, felt 30 og 31 (tabell 1) er en del av Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) sine langsiktige forsøk. Forsøkene har pågått siden 1920 i begge feltene. I denne oppgaven brukes data fra 1978 og 1965 til 2014 for henholdsvis felt 30 og 31, i tillegg til dataene fra feltarbeidet i 2018. Feltene ble valgt ut på bakgrunn av blandingsforholdet mellom gran og furu, sjiktningen i feltene og fordi det var data tilgjengelig langt tilbake i tid.

Tabell 1. Alder (år) er brysthøydealder for furu. Normaltemperatur er målt i perioden 1961-1990, hentet fra målestasjon 11290, Hurdal. Årlig middelnedbør er målt i perioden 1982-2012, Hurdal by, hentet fra Climate-Data.org.

| Felt | Alder<br>(År) | Bonitet<br>(H40) | Areal<br>(ha) | Normaltemperatur<br>(C°) | Årlig middelnedbør<br>(mm) | Høyde over havet<br>(m) | Koordinater<br>(UTM32) |
|------|---------------|------------------|---------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| 30   | 181           | F19              | 0,14          | 3,7                      | 726                        | 260                     | 6692869 N, 614305 Ø    |
| 31   | 185           | F18              | 0,41          | 3,7                      | 726                        | 260                     | 6692951 N, 614256 Ø    |



Brysthøydealder (tabell 1) og bonitetskurver (Tveite, 1976) ble brukt til å anslå høydeboniteten for furu. På grunn av forventning om at høydeveksten til granene var påvirket av konkurranse fra oversjiktet, ble det ikke anslått noen bonitet for granene. Normaltemperatur, årlig middelnedbør og høyde over havet er den samme for begge feltene, da den korte avstanden mellom de gjorde det umulig å skille mellom dem, med den data som var tilgjengelig.

Feltdagbøkenes kommentarer fra 1920 viser til funn av kullrester og det indikeres at det tidligere kan ha vært drevet svedjebruk på arealene. Derfor kan det være første generasjon med skog i feltene siden oppdyrkingen. I dag består feltene av gamle furutrær i oversjiktet, yngre naturlig forynget gran i undersjiktet og enkelte graner med samme høyde som furuene. Gran og furu var begge til stede i feltene fra forsøkene ble anlagt, men tidligere registreringer viser at gran sannsynligvis har forynget seg i to omganger. I en periode før forsøkene ble anlagt og i en periode fra omkring tidspunkt for anlegg av forsøksfeltene og frem. Det er uvisst hvordan de er forynget, men det må antas at foryngelsen har skjedd ved naturlig frøfall. Granene fra den første foryngelsesperioden er hogget ut av begge feltene. I felt 30 fjernet man de siste mellom 1978 og 1987 og i felt 31 foregikk dette i perioden mellom 1960 og 1965. Mellom uttaket av gran i feltene og til i dag har det ikke blitt foretatt tynninger i feltene, men det har blitt foretatt inngrep langs noen av kantene til feltene. Ved revisjon av feltene i 1987 har man i felt 30 vært nødt til å redusere flatestørrelsen på grunn av veibygging. Ved revisjon i 2014 registrerte man at det hadde blitt anlagt en driftsvei i den østlige delen av feltene. Dette førte ikke til redusert flatestørrelse, men at et større antall graner ble registrert hogget i henholdsvis felt 30 og 31 ved revisjonen.

## 2.2 Datainnsamling

Innsamling av data ble gjort i perioden august-september 2018 og samme feltgrense som ved tidligere revisjoner ble brukt. Målet var å posisjonere alle trær større enn 5 cm i brysthøydediameter (DBH), stubber og hjørnemarkeringer, måle diameter i brysthøyde til alle trær, diameter til alle stubber og registrere om trærne var døde eller levende. Mesteparten av trærne i feltene var markert med trenummer og klavemerke fra før. Stubber ble tildelt midlertidig nummer og målt for stubbediameter for senere å forsøke å knytte stubbene til det opprinnelige trenummer.



Utstyret som ble brukt i forbindelse med posisjonering av trær, stubber og hjørnemarkeringer bestod av teodolitt, Vertex høyde-/avstandsmåler, kompass og en stokk på 1,30 meter. I feltene ble teodolitten plassert med best mulig utsyn mot trærne. I felt 30 ble det brukt én oppstilling. På grunn av flatestørrelsen i felt 31, ble det brukt to oppstillinger. Teodolitten ble nullstilt i retning nord ved hjelp av kompasset og retning i gon ble målt til midten av stammen på trærne i brysthøyde, med vertexens transponder som siktepunkt. For stubber ble retning målt på samme måte, men brysthøyde og midten av den tidligere stammen ble vurdert ved skjønn og markert ved hjelp av stokken. Avstand ble målt med Vertex fra sentrum av teodolitten til transponderen som ble plassert på midten av trærne i brysthøyde og på samme måte for stubbene ved å anslå midten av trærne i brysthøyde. Diameter til trær ble målt ved kryssklaving til nærmeste millimeter på samme måte som ved tidligere registreringer. For stubber ble diameteren målt ved stubbeavskjær uten å måle med rotjær.

På grunn av tettheten i feltene og feltenes størrelse, var det i noen tilfeller ikke mulig å få siktelinje fra teodolitten til ønsket målepunkt på trær og stubber. I de tilfellene ble siktepunktet plassert i kjent avstand, vinkelrett til ønsket målepunkt, på en sådan måte at det var mulig å måle avstand og retning, som senere ble brukt til å regne ut vinkel og avstand til ønsket målepunkt. Til sammen ble diameter og posisjon tatt til 668 trær og stubber fordelt på 182 i felt 30 og 486 i felt 31.

## 2.3 Klargjøring av data

Målet med de innsamlede dataene var å få informasjon om trærnes plassering, deres tilvekst og få så lang en analyseperiode som mulig. Koordinater til enkelttrærne ble omregnet fra polare til kartesiske for å kunne brukes videre i analysen. Data fra tidligere revisjoner ble koblet sammen med data fra registrering i 2018 og diameter-tilvekst ble omregnet til grunnflatetilvekst.

Retning og avstand fra teodolitten til trær, stubber og hjørnemarkeringer ble omregnet til kartesiske x- og y-koordinater med følgende formler:

$$x = \sin ((retning1 + retning2 - offset\_vinkel)/200 * \pi) * avstand$$

$$y = \cos ((retning1 + retning2 - offset\_vinkel)/200 * \pi) * avstand$$

Der *retning1* er retningen målt med teodolitt, *retning2* er antallet gon som brukes til å rotere feltet i ønsket retning, *offset\_vinkel* er retningen som ble regnet ut i tilfeller hvor det ikke var siktelinje fra teodolitten til trær og stubber. *avstand* er avstanden fra teodolitten til transponderen, pluss 4 cm (tykkelsen på transponderen) og treets halve diameter.

Opprinnelige trenummer ble tildelt stubber ved å regne ut brysthøydiameter til stubbene. De beregnede brysthøydiameterne ble sammenlignet med målte brysthøydiameterer. Fra tidligere revisjoner for trær som ble hogget. I felt 30 var det i alt 18 stubber ut av totalt 56 stubber, hvor det ikke var mulig å knytte beregnet dbh til opprinnelig trenummer og tilsvarende 3 stubber av totalt 74 stubber i felt 31. Stubbdiameter ble omregnet til brysthøydiameter ved hjelp av lineære regresjonsmodeller fra trær i tynnede blandingsbestand i Løten og Rena:

Furu:

$$DBH_{over} = 0,327 + 0,830 * DSH_{over} \quad (R^2 = 0,941)$$

Gran:

$$DBH_{over} = 1,45 + 0,741 * DSH_{over} \quad (R^2 = 0,967)$$

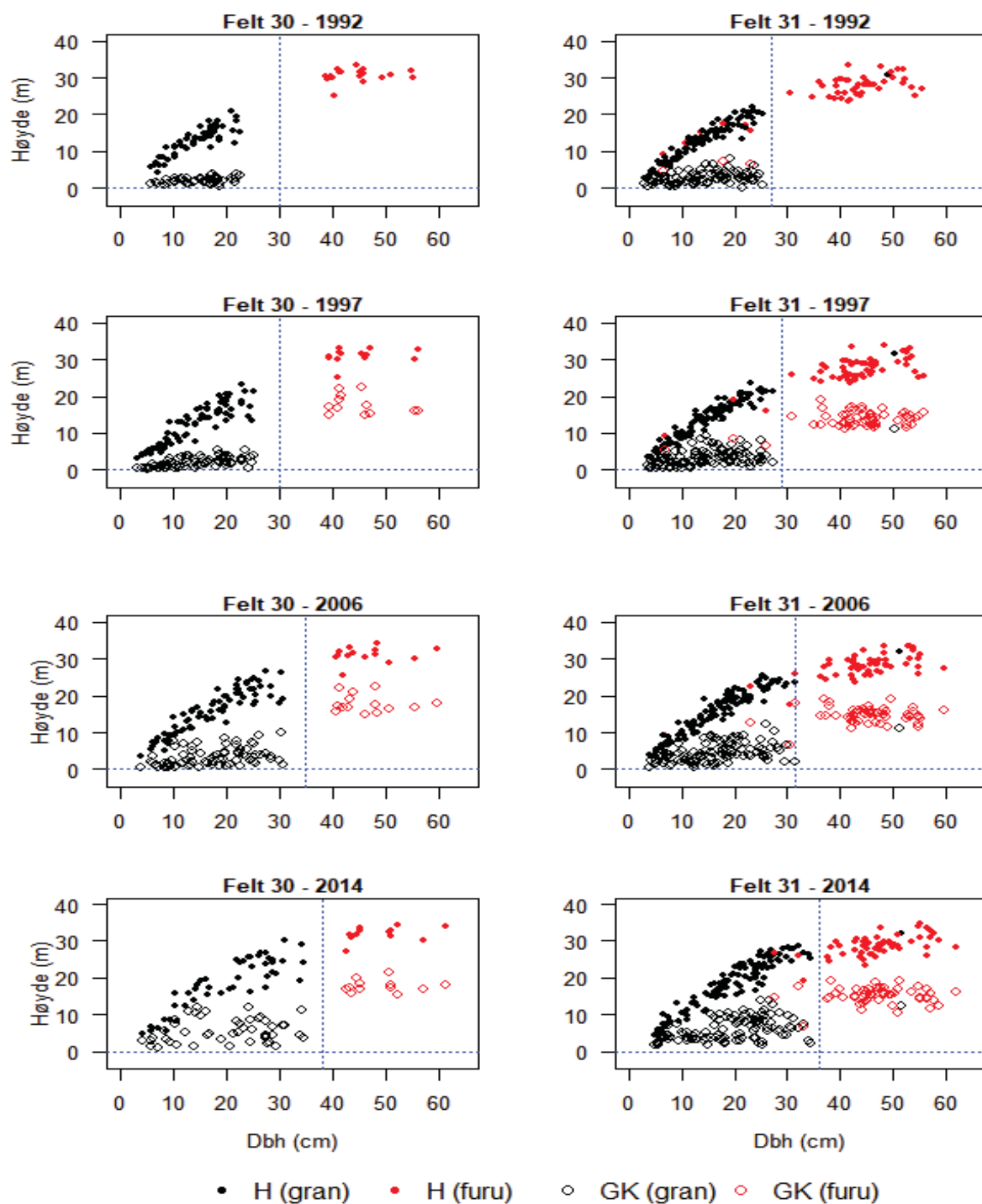
Der  $DBH_{over}$  er diameter i brysthøyde over bark og  $DSH_{over}$  er stubbdiameter over bark.

Til å analysere enkeltretilveksten i gran-undersjøktet brukes datamateriale tilbake til og med revisjon av feltene i 1992 i tillegg til revisjon i 1997, 2006, 2014 og registreringer i 2018. NIBIO sitt datamateriale går lengre tilbake i tid, men det var vanskelig å rekonstruere posisjoner for trær som døde før 1992. Analyseperioden ble derfor i alt 26 år (1992-2018), men med mindre justeringer, fordi det var ikke mulig å gjenfinne alle trær, som ble registrert i disse periodene. I felt 30 var det 27 grantrær som ble registrert første gang i 1997 og registrert som hogget ved revisjon i 2014. Ved hjelp av nummereringssystemet brukt i tidligere revisjoner og kart med treposisjoner (ikke vist), ble det vurdert at trærne med stor sannsynlighet hadde stått i feltets østlige del i samme område som de uidentifiserte stubbene. Som følge av dette ble arealet i felt 30, som brukes i analysen redusert til 999 m<sup>2</sup> i forhold til opprinnelig størrelse (1383 m<sup>2</sup>).

I felt 31 var det i alt fire trær som ble registrert i perioden mellom 1992 og 2014, men som det ikke ble funnet spor etter. Disse fikk tildelt koordinater i området som de sannsynligvis hadde stått. I felt 31 var det mulig å posisjonere tilstrekkelig mange trær og tildele nok stubber et opprinnelig trenummer til å bruke hele feltarealet (4066 m<sup>2</sup>) i analysen.

Det ble registrert negativ diametertilvekst til noen av trærne i de fire tilvekstperiodene, hvilket tydelig indikerer målefeil. Mens målefeil som slår ut med negativ tilvekst er enkle å oppdage, er det vanskeligere å oppdage målefeil som ikke slår ut med negativ tilvekst, enten feilen fører til lavere eller høyere registrert tilvekst enn den faktiske. Derfor ble det besluttet å beholde de få trær med negativ tilvekst for å motvirke senere overprediksjon på grunn av positive målefeil i datasettene. Det er ikke mulig å unngå målefeil, og det ble vurdert at målefeil var av mindre betydende karakter.

For å kunne analysere gran-undersjiktet ble undersjikt og oversjikt skilt fra hverandre. Figur 2 viser høyde og høyde til grønnkrone (meter) plottet over diameter i brysthøyde (cm) for gran og furu fra 1992 til 2014. Den vertikale linjen viser skillet mellom undersjikt og oversjikt. Det ble ikke målt høyde og høyde til grønnkrone for alle trær i feltene, men gjennomgang av datasettet viste at hele dbh-spekteret er representert i målingene. Under- og oversjikt ble for 2018 delt inn ved hjelp av diameter i brysthøyde.



Figur 2. Høyde (H) og høyde til grønnkrone (GK) for gran og furu i felt 30 og 31.

## 2.4 Tilvekstmodell

Etter forberedelse av dataene ble det klargjort en tilvekstmodell. En vanlig modelltype for beskrivelse av tilvekst på enkelttreenivå beregner potensiell tilvekst til fokustreet (eksempelvis grunnflate eller høyde), uten konkurranse fra nabotrær, og etterpå reduseres tilveksten etter potensial-modifier-prinsippet ved hjelp av en eller flere konkurranseindekser. Modellen tar utgangspunkt i fokustreets størrelse (utgangsstørrelse) ved begynnelsen av en definert vekstperiode og har vist seg å fungere bra i heterogene bestand med variasjon i konkurranse mellom de enkelte trær (Pretzsch et al., 2002, Pommerening et al., 2011).

I denne oppgaven ble det testet ulike modell-typer, hvor alle følger potensial-modifier-prinsippet. Funksjonen beregner enkeltrærnes potensielle grunnflatetilvekst ( $\text{m}^2/\text{år}$ ) uten konkurranse og modifier-funksjonen reduserer den potensielle tilveksten i forhold til konkurransebidraget fra nabotrær.

To konkurranseindekser ble brukt til å analysere enkeltretilveksten. Ett for både undersjikt ( $CI_u$ ) og oversjikt ( $CI_o$ ), for å skille mellom konkurransebidraget fra de to sjiktene.

For hver enkelt konkurrent beregnes først konkurransebidraget ved hjelp av en negativ eksponentialfunksjon, hvor konkurransebidraget fra et nabotre bestemmes av størrelsen til nabotreet og avstanden. Jo lengre vekk nabotreet står fra fokustreet, jo sterkere reduseres konkurransen.

Følgende formel ble brukt til beregning av konkurransebidraget:

$$CI_i = dbh_c^p * \exp(q * dist_{sc})$$

Der  $CI_i$  er konkurransen nabotreet  $i$  bidrar med,  $dbh_c$  er diameter i brysthøyde til konkurrenten målt i cm,  $dist_{sc}$  er avstanden til konkurrenten målt i meter.  $p$  og  $q$  er parametere som skal estimeres, men i denne oppgaven benyttes  $p = 2$  og  $q = -0,5$  som konstanter.

Den samlede konkurranse ( $CI_s$ ) som utøves på et fokustre er summen av  $CI_i$  til alle konkurrenter som står innen en definert søkeradius. Konkurranseindeksene i vekstmodellen ble skalert mellom 0 og 1, som beskriver henholdsvis ingen og full konkurranse.

Følgende formell ble brukt til skalering av  $CI_u$  og  $CI_o$ :

$$CI = CI_s / (CI_s + dbh_f^p)$$

Der  $CI$  er den skalerte konkurranseindeks og  $dbh_f$  er diameter til fokustreet målt i cm.

Dette gir et vektet konkurransebidrag som på grunn av potensfunksjonen er kraftig skalert, der fokustrær som er relativ små i forhold til konkurrentene har større konkurranse enn tilsvarende store fokustrær med små konkurrenter rundt seg.

For beregning av  $CI_u$  ble søkeradius fastsatt til 5 meter til å definere når et tre var en konkurrent eller ikke. I hvert felt ble det derfor lagt inn en buffersone på 5 meter innad i feltene langs grensene. Trær i buffersonen ble brukt som konkurrenter, mens bare trær i selve kjerneflaten ble brukt både som fokustrær og konkurrenter. Kjerneflaten i felt 30 og 31 ble på henholdsvis 443,91 m<sup>2</sup> og 2805,66 m<sup>2</sup> etter det ble lagt inn buffersone.

På grunn av størrelsen til trærne i oversjiktet ble søkeradius på 10 meter brukt for beregning av  $CI_o$ . En buffersone på 10 meter langs feltgrensene ville ført til stor reduksjon av kjerneflaten og for få trær i analysen. Derfor ble det brukt kant-korreksjon for fokustrær hvor sirkelen delvis ligger utenfor buffersonen. Metoden bygger på antagelsen om at konkurransen i den ukjente delen tilsvarer konkurransen i den kjente delen med hensyn til konkurrentenes størrelse og avstand til fokustreet, og konkurransen korrigeres med størrelsesforholdet mellom de to delene.

Ved hjelp av multiple regresjonsanalyser ble det estimert parametere til vekstmodellen i periodene 1992-1997, 1997-2006, 2006-2014 og 2014-2018. Bare posisjonerte trær med data for grunnflatetilvekst ble brukt som fokustrær i analysen og bare i de periodene hvor det var data tilgjengelig for det enkelte treet.

For å kunne regne ut årlig grunnflatetilvekst var det nødvendig å ta høyde for lengden på perioden mellom hver registrering inklusiv når i løpet av vekstperioden trærne var målt. I 1992 og 1997 foregikk registrering midt i vekstperioden og i 2006, 2014 samt 2018 foregikk registrering etter endt vekstperiode. Perioden fra 1992-1997 ble derfor beregnet til i alt 5 vekstperioder, mens periodene 1997-2006, 2006-2014 og 2014-2018 ble beregnet til henholdsvis 8, 5, 9 og 4 vekstperioder.

Enkeltrærnes årlige grunnflatetilvekst ble beregnet med en forenklet versjon av tilvekstfunksjonen til Hugershoff (1936). Hugershoffs tilvekstfunksjon (ikke vist) inneholder, i tillegg til potensial-modifier-funksjon, en multiplikator, et potensledd og et negativt eksponentialledd, som gir rask økning i tilvekst for små trær, frem til tilveksten når et kulminasjonspunkt og sakte reduseres med økende størrelse på treet. Den forenklete funksjonen inneholder ikke det negative eksponentialledd, hvilket betyr at enkeltrærnes tilvekst ikke avtar, men fortsetter å øke med økende størrelse på treet. Forenklingen var nødvendig, sannsynligvis på grunn av manglende større trær i datasettet.

Den forenklete funksjonen:

$$iba = a * bastart^{b_g} * CIu^{b_{CIu}} * CIo^{b_{CIo}}$$

Der  $iba$  er grunnflatetilvekst ( $m^2/år$ ) til fokustreet,  $bastart$  er utgangsgrunnflate ( $m^2$ ) til fokustreet,  $CIu$  og  $CIo$  er de skalerte konkurranseindeksene for henholdsvis oversjikt og undersjikt.

$a$ ,  $b_g$ ,  $b_{CIu}$  og  $b_{CIo}$  er parametere som må estimeres.

Modellen ble forsøkt tilpasset dataene i feltene, men residualplots indikerte at det var vekselvirkning mellom trærnes utgangsgrunnflate og begge konkurranseindeksene. Derfor ble det tilføyet et interaksjonsledd for  $CIu$  og  $CIo$ . Før estimering av parameterne til den endelige modellen, ble i tillegg den avhengige og de uavhengige variablene transformert til logaritmisk skala.

Formelen for modellen ble:

$$\begin{aligned} \ln(iba) = & (a + a_{f30} * felt30) + \log(bastart) * (b_g + b_{g30} * felt30) \\ & + \ln(CIu) * b_{CIu} \\ & + \ln(CIo) * b_{CIo} \\ & + \ln(CIu) * \ln(bastart) * b_{gCIu} \\ & + \ln(CIo) * \ln(bastart) * b_{gCIo} \end{aligned}$$

Der  $\ln$  er den naturlige logaritmen og  $a$ ,  $a_{f30}$ ,  $b_g$ ,  $b_{g30}$ ,  $b_{CIu}$ ,  $b_{C Io}$ ,  $b_{gCIu}$  og  $b_{gC Io}$  er parametere som må estimeres. *Felt30* er en dummyvariabel som ble lagt til for å skille mellom feltene. Dette ble gjort fordi enkeltrærne i felt 30 alt annet like, vokste forskjellig fra enkeltrærne felt 31. Parameterne  $a_{f30}$  og  $b_{g30}$  er derfor bare gjeldende for felt 30.

Parameterne for modellen ble estimert i R 3.5.1 med den ikke-lineære funksjonen *NLS*. Modellen ble tilpasset ved å regne modellen med samtlige variabler og fjerne de med ikke-signifikante parameterestimater en om gangen, startende med den som var minst signifikant (backward selection). For parameterestimaterne ble brukt et signifikansnivå på 0,05 til å teste om disse var signifikant forskjellige fra 0. Regresjonsresultatene for de endelige modellene ble evaluert ved hjelp av residualplots og tilvekstkurver ble brukt til å vise effektene av konkurranse fra oversjikt og undersjikt på enkeltrærnes tilvekst. Mht. tilvekstkurvene er enkeltrærne delt inn i tre like store klasser mht. antall etter *CIu* og igjen tre like store klasser etter *C Io*. Enkeltrærnes minimum- og maksimumgrunnflate i hver klasse er bestemmende for lengden på kurvene og motvirker at prediksjonene brukes i ekstrapolasjonsområdet.

## 2.5 Andre undersøkelser

Til å bidra til interpretasjonen av resultatene i enkeltreanalysen ble det laget arealstatistikker for begge feltene. Arealstatistikkene beskriver utviklingen i feltene over tid og kart som viser trær og stubbers romlige fordeling etter registrering i 2018.

Utviklingen i overhøyde til de dominerende granene ble undersøkt og sammenlignet med bonitetskurver for gran i henhold til Sharma et al. (2012). Ved å bruke bonitetskurvene som referanse var målet å undersøke om det var noen endring over tid, med hensyn til granenes høydevekst og for å gi et bilde av høydeutvikling i feltene sammenlignet med gran i renbestand. Det ble brukt registrering av trehøyder tilbake fra 1978 og 1965 for henholdsvis felt 30 og 31. Grafer med trehøyde plottet over brysthøydiameter (ikke vist) indikerte at høyden til de 50 grøvste per ha var minst påvirket av konkurranse. Brysthøyealderen til trærne er ukjent, men ble anslått ved å plote dbh-utvikling over tid for trærne og trekke utviklingslinjer for de grøvste trærne tilbake til linjen krysser null på y-aksen (ikke vist). Alderen til granene i undersjiktet ble vurdert i 2018 til 73 og 85 år i henholdsvis felt 30 og 31.



Utviklingen i overhøyde til furu ble regnet ut fra 1992 til 2014. Overhøyde er beregnet for hele feltarealet på grunn av et lavt antall furu i kjerneflaten til felt 30. 14 furu i felt 30 og 41 furu i felt 31 danner grunnlag for beregningene. I felt 30 var det bare 12 furu totalt i oversjiktet i 2014 (to mindre enn i de forrige periodene), og disse er brukt i beregningene.

I tillegg til overhøyde ble utvikling i middeldiameter i brysthøyde over tid, til de 400 grøveste trær per ha i granundersjiktet undersøkt og sammenlignet med et simulert bestand, hvor selvtynning regulerer tettheten i bestandet (Braastad, 1975). Målet var å undersøke om det var noen endringer over tid og undersøke potensialet for diameterutvikling til granene i undersjiktet sammenlignet med gran i renbestand. Tilveksttabellene for gran i et utynnet renbestand ble valgt, fordi det ligner mest på forholdene til gran i feltene og fordi det var vanskelig å finne lignende tabeller for tosjiktede blandingsbestand som undersøkes i denne oppgaven. De 400 grøveste per ha ble brukt ut ifra et eget definert mål om at omtrent 400 trær med en brysthøydiameter på 40 cm har en grunnflate på 50 m<sup>2</sup>/ha, som er tett på maksimal grunnflate for gran. Det ble brukt registrering av diameter tilbake fra 1978 og 1965 for henholdsvis felt 30 og 31.

De kartesiske koordinatene ble sammen med informasjon om trærnes diameter brukt til å lage kart som viser romlig fordeling av trær i forhold til størrelse, treslag og stubber inklusiv kjerneflate og buffersone for begge feltene. Målet var å gi et bilde av trærnes horisontale fordeling i og mellom feltene og som støtteverktøy i forbindelse med enkeltreanalysen.

## 3.0 Resultater

I dette avsnittet presenteres først arealstatistikkene for feltene og etterfølgende resultater for analysen av enkeltretilveksten.

### 3.1 Feltoversikt

Kjerneflaten inklusiv buffersone er av interesse, da de har hatt innvirkning på veksten til gran-undersjiktet i kjerneflatene, i tillegg til å kunne bidra til interpretasjon av resultater for enkeltretilveksten som presenteres senere i dette avsnittet. Tabell 2 viser hvordan levende trær i buffersonen og kjerneflatene har utviklet seg i perioden 1992-2018 inklusiv grunnflatetilvekst i gran-undersjiktet (*Grunnflatetilvekst*).

Treantallet i undersjiktet i 1992 er lavere i felt 30 enn i 31, men jevner seg ut i 1997 og 2006. I 2014 og 2018 er treantallet i undersjiktet høyere i felt 30 enn i felt 31, hovedsakelig på grunn av hogsten som ble utført i feltenes østlige kant mellom 2006 og 2014. Ser man på grunnflaten til undersjiktet øker denne raskere i felt 30 enn i 31 og det er ingen reduksjon i grunnflaten i felt 30 fra 2006 til 2014. Årsaken til dette er at hogsten bare i liten grad påvirker kjerneflaten og buffersonen. Grunnflatetilveksten til gran-undersjiktet i kjerneflatene, er rundt dobbelt så høy i felt 30 i forhold til felt 31 i periodene, men redusert i perioden 2014-2018. Forskjellen i feltenes samlede grunnflate reduseres fra 1992 til 2018 og felt 30 nærmer seg felt 31 mot slutten av perioden. Dette kan forklare hvorfor forskjellene i årlig grunnflatetilvekst reduseres i de to siste tilvekstperiodene.

*Tabell 2. Treantall (dbh > 5 cm), grunnflateveid middeldiameter (Dg) og grunnflate (G) i buffersone og kjerneflate fra 1992-2018 for undersjikt (u), oversjikt (o) og begge sjikt (s). Grunnflatetilvekst for kjerneflatene.*

| Felt | Sjikt | Treantall |      |      |      |      | Dg   |      |      |      |      | G    |      |      |      | Grunnflatetilvekst |       |       |       |       |
|------|-------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|      |       | 1992      | 1997 | 2006 | 2014 | 2018 | 1992 | 1997 | 2006 | 2014 | 2018 | 1992 | 1997 | 2006 | 2014 | 2018               | 92-97 | 97-06 | 06-14 | 14-18 |
| 30   | u     | 661       | 991  | 1131 | 941  | 981  | 14   | 14   | 16   | 18   | 18   | 10,8 | 15,0 | 22,2 | 23,1 | 25,3               | 0,85  | 1,06  | 0,76  | 0,64  |
|      | o     | 110       | 110  | 90   | 90   | 90   | 43   | 43   | 45   | 47   | 47   | 15,8 | 16,2 | 14,2 | 15,4 | 15,7               | 0,06  | 0,14  | 0,14  | 0,07  |
|      | s     | 771       | 1101 | 1221 | 1031 | 1071 | 21   | 19   | 19   | 22   | 22   | 26,6 | 31,2 | 36,4 | 38,5 | 41,0               | 0,91  | 1,20  | 0,90  | 0,72  |
| 31   | u     | 976       | 1011 | 1139 | 777  | 760  | 14   | 15   | 16   | 18   | 19   | 14,9 | 17,0 | 21,4 | 19,9 | 20,9               | 0,45  | 0,53  | 0,37  | 0,42  |
|      | o     | 140       | 140  | 133  | 128  | 125  | 44   | 45   | 47   | 49   | 49   | 21,7 | 22,6 | 22,7 | 23,7 | 24,0               | 0,11  | 0,12  | 0,16  | 0,16  |
|      | s     | 1117      | 1151 | 1271 | 905  | 885  | 20   | 21   | 22   | 25   | 25   | 36,6 | 39,5 | 44,1 | 43,5 | 44,9               | 0,56  | 0,65  | 0,54  | 0,58  |

### 3.2 Høydeutvikling i furu-oversjiktet

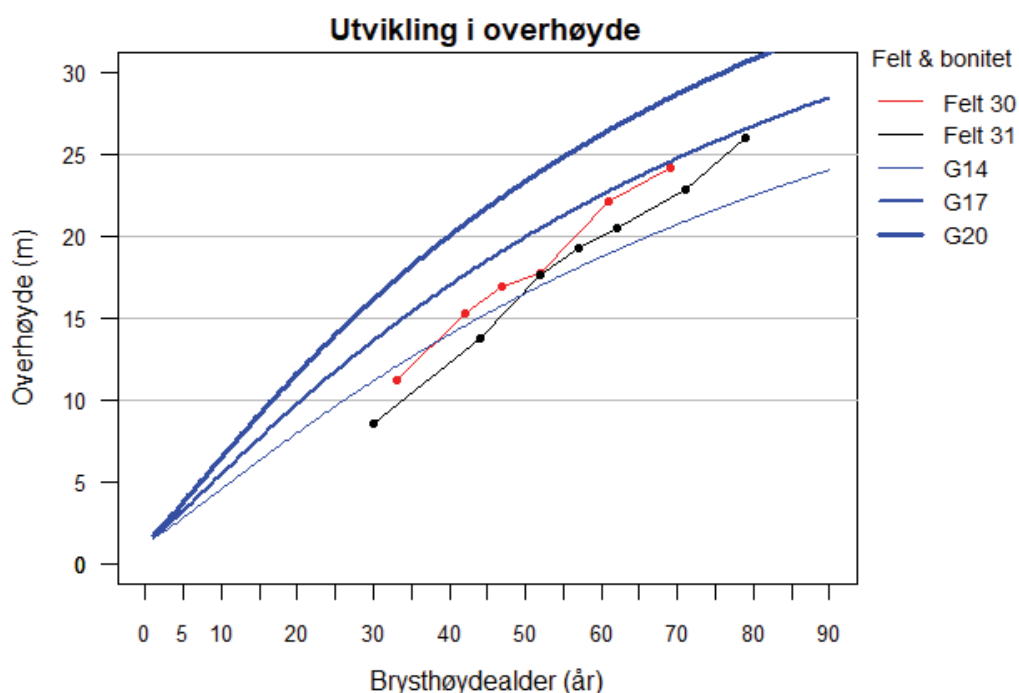
Resultater som viser utvikling i overhøyde til furu kan brukes til å vise forholdet mellom gran og furu i feltene og gir et bilde av veksten til furu i feltene. Tabell 3 viser overhøyde til furu i oversjiktet i årene 1992-2014. Tabellen viser at utviklingen i overhøyde er liten i perioden fra 1992-2014 med tilvekst på 1,07 meter og 0,95 meter i henholdsvis felt 30 og 31 i perioden fra 1992-2014.

*Tabell 3. Overhøyde (Hdom) for furu i feltene.*

| Felt | Hdom<br>(m) |       |       |       |
|------|-------------|-------|-------|-------|
|      | 1992        | 1997  | 2006  | 2014  |
| 30   | 30,79       | 30,88 | 30,99 | 31,86 |
| 31   | 28,35       | 28,45 | 29,00 | 29,30 |

### 3.3 Høydeutvikling i gran-undersjiktet

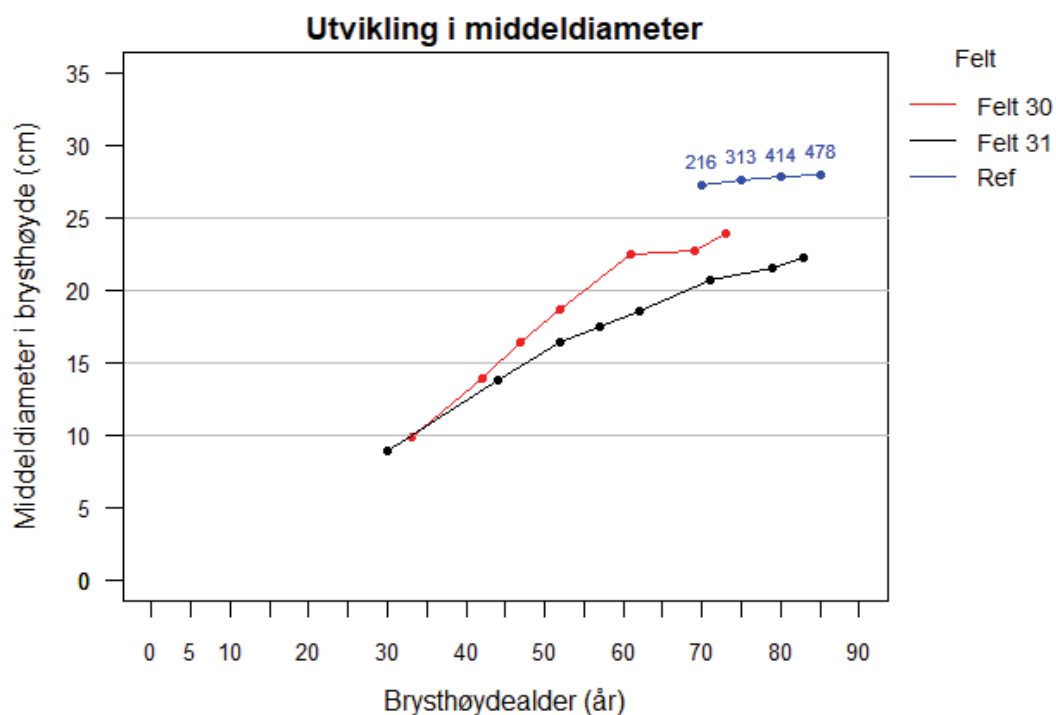
I dette avsnittet presenteres utvikling i overhøyde i gran-undersjiktet for å få et inntrykk av utviklingen sammenlignet med gran i renbestand og vise forskjeller mellom utviklingen til gran og furu i feltene. Figur 3 viser middelhøyde til de 50 grøvste trær per ha i gran-undersjiktet i begge feltene plottet over brysthøydealder. Som referanse er det lagt inn bonitetskurver for gran i henhold til Sharma et al. (2012). Figuren viser at utviklingen i overhøyde er raskere enn bonitetskurvene tilsier. Dette indikerer en endring i vekstbetingelse til de grøvste trærne. Sammenligner man overhøyden (24,21 m og 26,01 m i felt 30 og 31) til gran i undersjiktet ved registrering i 2014 med overhøyden til furu (tabell 3) er det tydelig forskjell mellom disse. Imidlertid har furu stagnert, mens granene fortsetter å vokse.



Figur 3. Utvikling i overhøyde til de 50 grøvste trær i gran-undersjiktet i felt 30 og 31 (F30 og F31). Bonitetskurver for gran (H40): G14, G17, G20.

### 3.4 Diameterutvikling i gran-undersjiktet

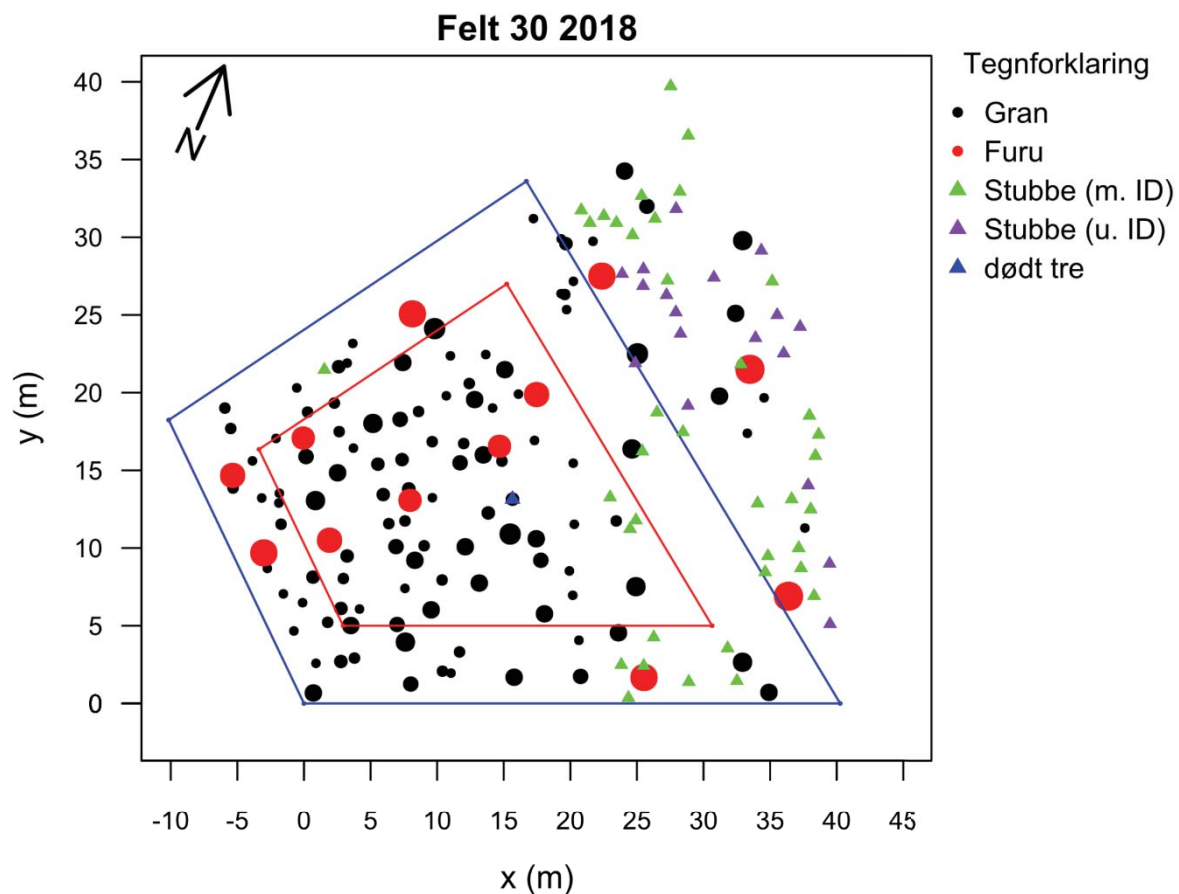
I dette avsnittet presenteres utviklingen i middeldiameter i gran-undersjiktet, for å få et inntrykk av utviklingen sammenlignet med gran i renbestand. Figur 4 viser middeldiameter i brysthøyde til de 400 grøvste trær per ha i gran-undersjiktet plottet over brysthøydealder, for begge feltene. Som referanse er lagt inn middeldiameter til de 216, 313, 414 og 478 grøvste graner på en G17 lokalitet i et simulert bestand, hvor selvtynning regulerer tettheten i bestandet (Braastad, 1975). Antallet graner i referansen indikerer hvor mange i det simulerte bestandet som er over 25 cm i brysthøydiameter. Treantallet/ha i det simulerte bestandet er på henholdsvis 1350, 1260, 1180 og 1180 ved brysthøydealder 70, 75, 80 og 85 år som er vist i figuren. Grunnflaten i referansen er på mellom 48 og 50 m<sup>2</sup>/ha ved alder 70 til 85 år. Figuren viser at trærne i felt 30 vokser bedre enn trærne i felt 31 og at kurvene begynner å flate ut mot slutten av perioden. Sammenligner man feltene med referansen ser man tydelig at middeldiameteren er lavest i feltene, til tross for at det samlede treantallet og grunnflaten (m<sup>2</sup>/ha) i feltene (tabell 2) er lavere enn i referansen.



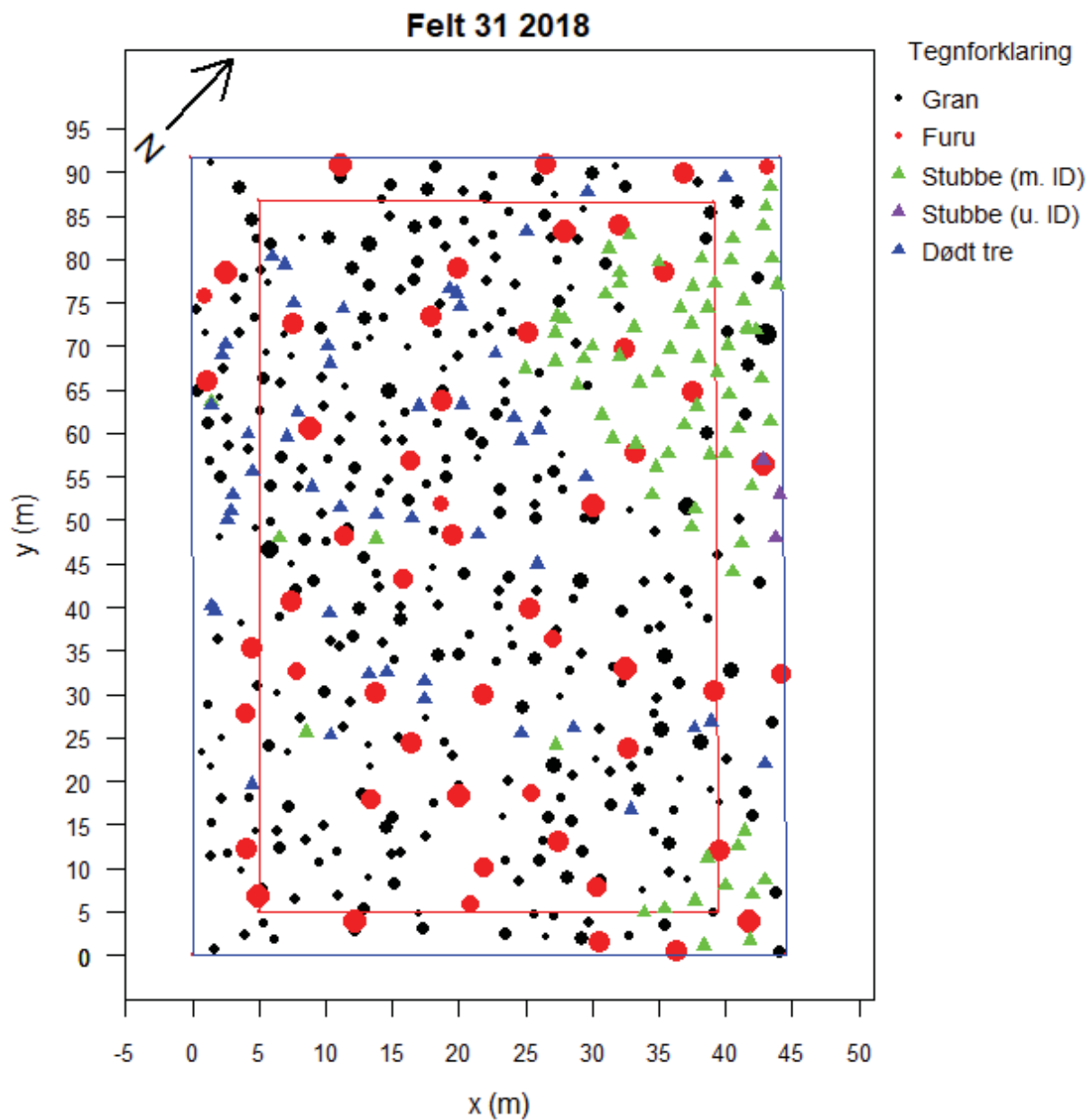
Figur 4. Utvikling i middeldiameter (dbh) til de 400 grøvste trær i gran-undersjøktet. Ref: simulert utynnet referansebestand med treantall per ha (blåe tall) for trær med dbh > 25 cm.

### 3.5 Trærnes horisontale fordeling

Kart som viser trærnes horisontale fordeling gir et bilde av tettheten i ulike deler av feltene og forholdet mellom plasseringen av gran i forhold til furu. Figur 5 og 6 viser posisjonen til trær og stubber i henholdsvis felt 30 og 31 etter registrering i 2018. I felt 30 står furu ujevnt fordelt på arealet og særlig i kjerneflaten er furu begrenset til den ene halvdel og buffersonen ganske åpen langs østkanten. I felt 31 er furutrærne mere jevnt fordelt over hele kjerneflaten enn i felt 30. Det er en tendens til at gran står tettere i kjerneflatens nordvestlige del. Noe som delvis bekreftes av antallet døde trær, og som kan skyldes generelt høyere konkurranse i denne delen av flaten. Ser man på forskjellen mellom feltenes grunnflate ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ) til trærne i oversjøktet (tabell 2) og sammenholder dette med furutrærnes plassering i feltene, kan dette være en del av forklaringen på, hvorfor granundersjøktet i kjerneflaten i felt 30 har høyere tilvekst enn i felt 31.



Figur 5. Kart med posisjoner til trær og stubber i felt 30 i 2018. Gran (sorte sirkler), furu (røde sirkler) i forhold til trestørrelse med intervaller på dbh = 5 cm. Stubber med trenummer (grønne trekanter), stubber uten trenummer (lilla trekanter), døde trær (blå trekanter). Stubber og døde trær er ikke angitt i forhold til størrelse. Røde linjer: Kjerneflate. Blå linjer: Buffersone.



Figur 6. Kart med posisjoner til trær og stubber i felt 31 i 2018. Gran (sorte sirkler), furu (røde sirkler) i forhold til trestørrelse med intervaller på dbh = 5 cm. Stubber med trenummer (grønne trekanter), stubber uten trenummer (lilla trekanter), døde trær (blå trekanter). Stubber og døde trær er ikke angitt i forhold til størrelse. Røde linjer: Kjerneflate. Blå linjer: Buffersone.

### 3.6 Analyse av enkeltretilvekst i gran-undersjiktet

I dette avsnittet presenteres regresjonsresultatene for de fire vekstperiodene sammen med residualgrafer og tilvekstkurver. Målet var å undersøke effekten av tettheten i oversjikt og undersjikt på grunnflatetilveksten til enkeltrærne i gran-undersjiktet. Regresjonsresultatene (tabell 4) er basert på de logaritmisk transformerte variablene. Tabellen viser hvilke variabler som er igjen etter reduksjon av utgangsmodellen. Figurer i dette avsnittet med residualgrafer og tilvekstskurver er basert på de tilbaketransformerte variablene og hver periode er presentert separat.

Tabell 4. Parameterestimer for modellene i de fire vekstperioder for log-transformerte variabler. Antall trær inkluderer begge felter. Stjernene bak p-verdi indikerer signifikansnivå:

| Periode | Antall trær | Parameter | Estimater | Standardfeil | p-verdi |     | RMSE   | R2adj  |
|---------|-------------|-----------|-----------|--------------|---------|-----|--------|--------|
| 92-97   | 333         | a         | -6,5068   | 0,109        | <0,0001 | *** | 0,1883 | 0,6935 |
|         |             | a_f30     | 1,751     | 0,0212       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_g       | 0,147     | 0,0219       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_g30     | 0,324     | 0,0475       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_ciu     | -0,518    | 0,131        | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_cio     | -0,355    | 0,128        | 0,0059  | **  |        |        |
|         |             | b_gCiu    | -0,0796   | 0,0268       | 0,00323 | **  |        |        |
|         |             | b_gCio    | -0,0692   | 0,0286       | 0,0162  | *   |        |        |
| 97-06   | 346         | a         | -6,517    | 0,119        | <0,0001 | *** | 0,2385 | 0,6760 |
|         |             | a_f30     | 0,873     | 0,173        | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_g       | 0,168     | 0,0232       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_g30     | 0,125     | 0,0373       | 0,00328 | *** |        |        |
|         |             | b_ciu     | -0,440    | 0,0471       | 0,0382  | *** |        |        |
|         |             | b_cio     | -0,250    | 0,0896       | 0,00553 | **  |        |        |
|         |             | b_gCiu    | -0,0403   | 0,0187       | 0,0318  | *   |        |        |
| 06-14   | 284         | a         | -6,500    | 0,142        | <0,0001 | *** | 0,2658 | 0,6251 |
|         |             | a_f30     | 0,648     | 0,185        | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_g       | 0,184     | 0,0311       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_g30     | 0,111     | 0,0435       | 0,0114  | *   |        |        |
|         |             | b_ciu     | -0,746    | 0,192        | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_gCiu    | -0,114    | 0,0570       | 0,0476  | *   |        |        |
| 14-18   | 281         | a         | -6,615    | 0,146        | <0,0001 | *** | 0,2984 | 0,5954 |
|         |             | a_f30     | 0,100     | 0,0462       | 0,0307  | *   |        |        |
|         |             | b_g       | 0,1795    | 0,0293       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_ciu     | -0,434    | 0,0519       | <0,0001 | *** |        |        |
|         |             | b_cio     | -0,0671   | 0,0266       | 0,0121  | *   |        |        |

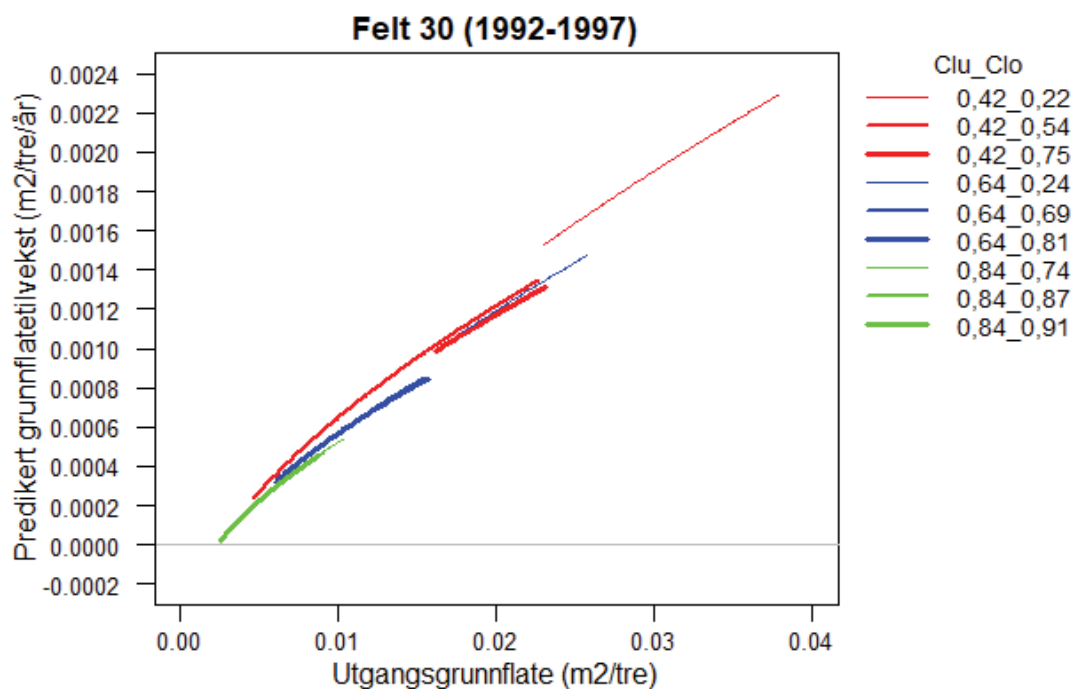
(\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ , \*\*\* =  $p \leq 0,001$ ).



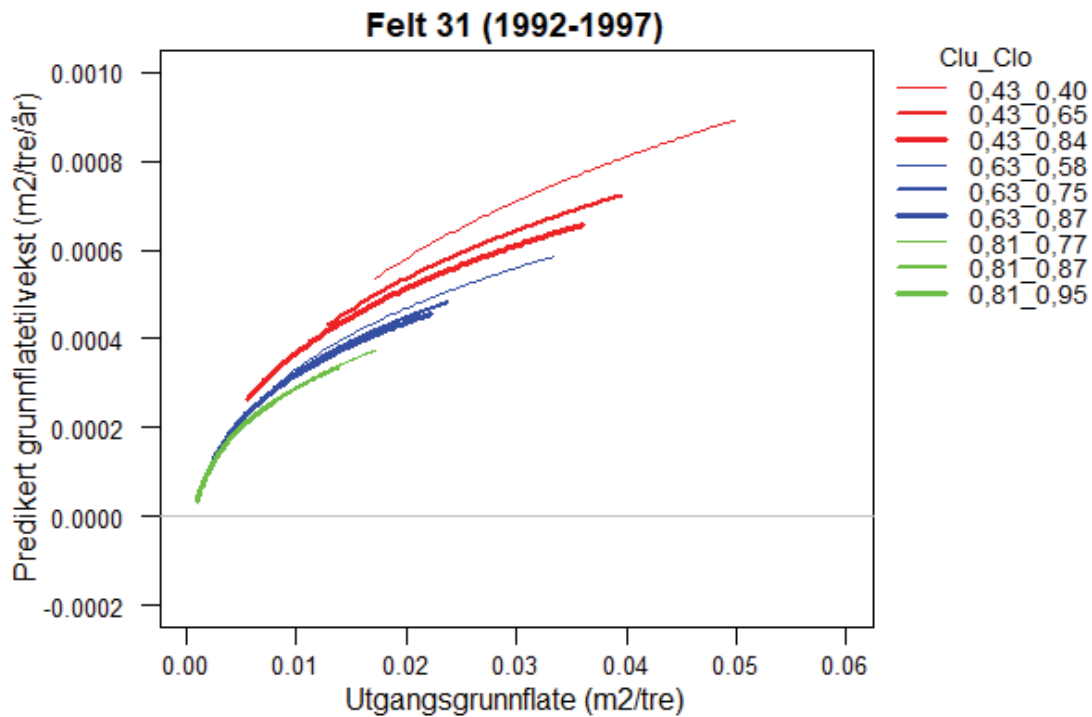
### 3.7 1992-1997

Modellen i denne perioden er ikke redusert for variabler i forhold til den fulle modellen og som helhet forklarer den 69 % av variasjonen i grunnflatetilveksten til enkelttrærne.

Parameter  $a$  og  $b_g$  er begge forskjellige mellom felt 30 og 31 og modellen predikerer høyere grunnflatetilvekst i felt 30 enn i 31. Figur 7 og 8 viser predikert grunnflatetilvekst ( $\text{m}^2/\text{tre}$ ) som funksjon av utgangsgrunnflate ( $\text{m}^2/\text{tre}$ ) i henholdsvis felt 30 og 31 i perioden 1992-1997 ved ulike nivåer av  $CI_u$  og  $CI_o$ . Kurvene viser at tilveksten øker forholdsmessig raskere for trær med liten utgangsgrunnflate enn større trær og tilveksten fortsetter å øke med økende utgangsgrunnflate. Effekten av  $CI_u$  og  $CI_o$  på grunnflatetilveksten er mest tydelig i figur 8 (felt 31). Den viser at undersjiktet har større effekt på grunnflatetilveksten til gran-undersjiktet enn oversjiktet og at tilveksten reduseres med økende konkurransebelastning fra de to sjiktene. Modellen predikerer omtrent dobbelt så stor grunnflatetilvekst i felt 30 i forhold til 31. Dette stemmer fint overens med resultatene i tabell 2, hvor grunnflate per ha i begge sjikt i 1992 og dermed konkurransebelastningen må forventes å være lavest i felt 30.

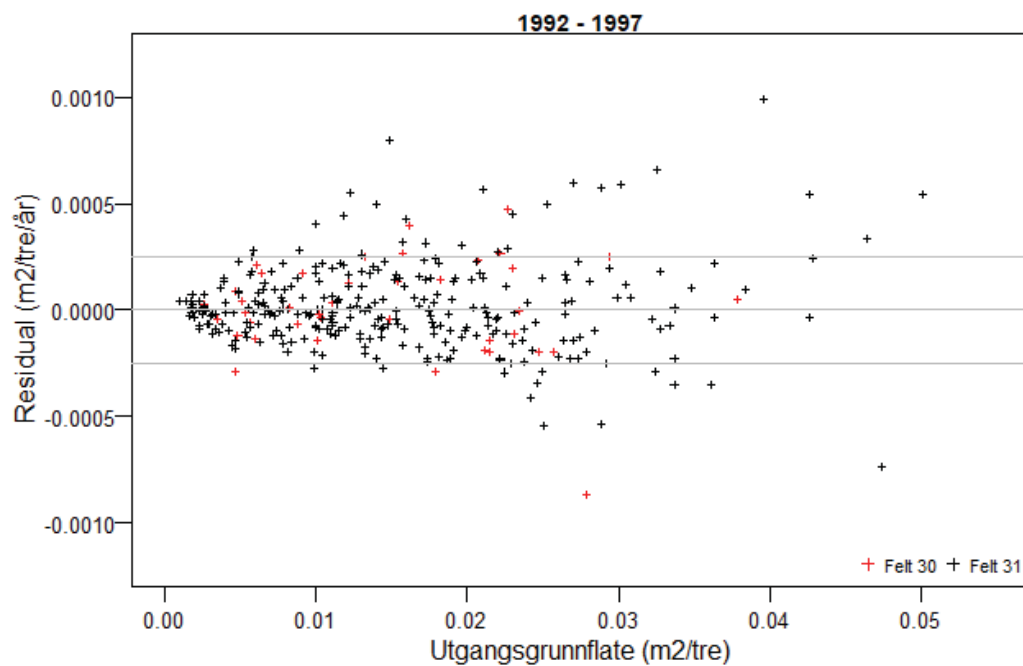


Figur 7. Predikert grunnflatetilvekst i felt 30. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av  $CI_u$  og  $CI_o$ .

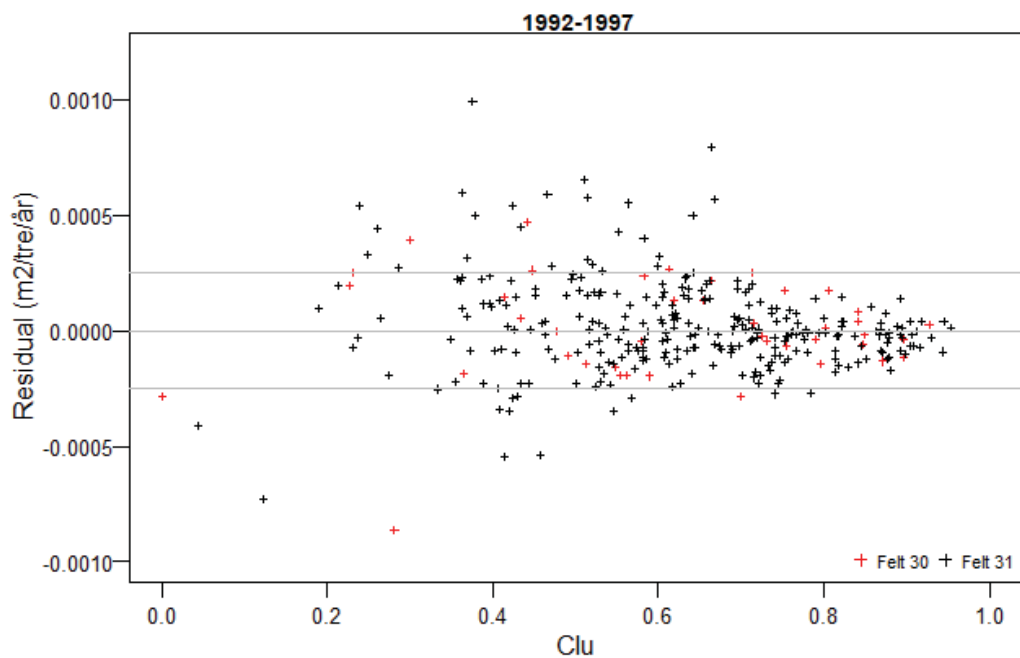


Figur 8. Predikert grunnflatetilvekst over utgangsgrunnflate i felt 31. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av  $Clu$  og  $Clo$ .

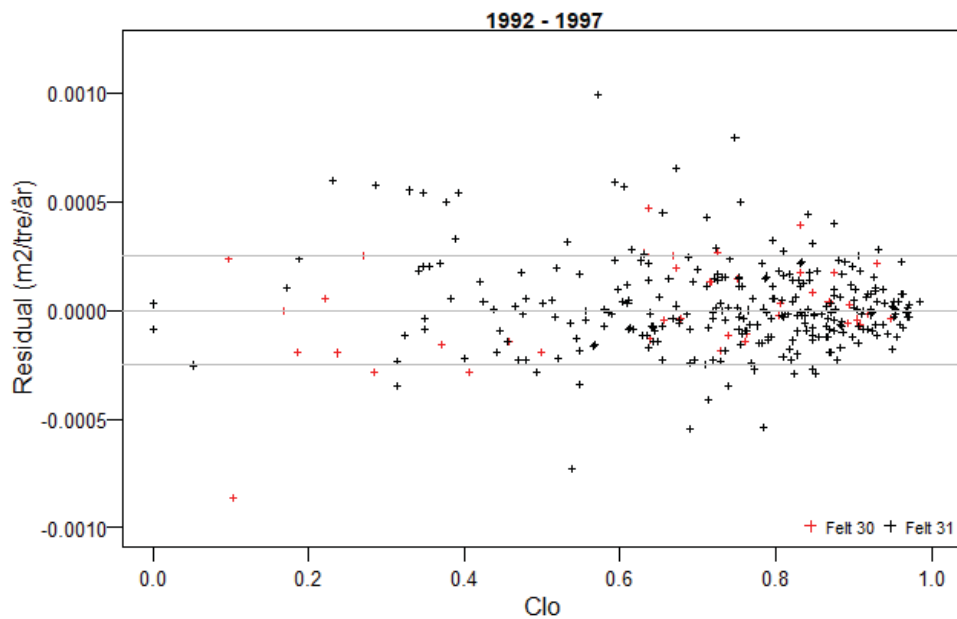
Residualgrafene (figur 9, 10 og 11) viser ingen trender i form av systematisk over- eller underpredikering av grunnflatetilveksten, men grafene viser at størrelsen på restfeilene rundt observasjonene endrer seg. I figur 9 viser grafen en tendens til heteroskedastisitet og at restfeilene øker i størrelse med økende utgangsgrunnflate. Den samme tendens sees i figur 10 med synkende  $Clu$ , mens figur 1 viser at det generelt er stor spredning i residualene fra høy til lav  $Clo$ .



Figur 9. Residualer over utgangsgrunnflate.



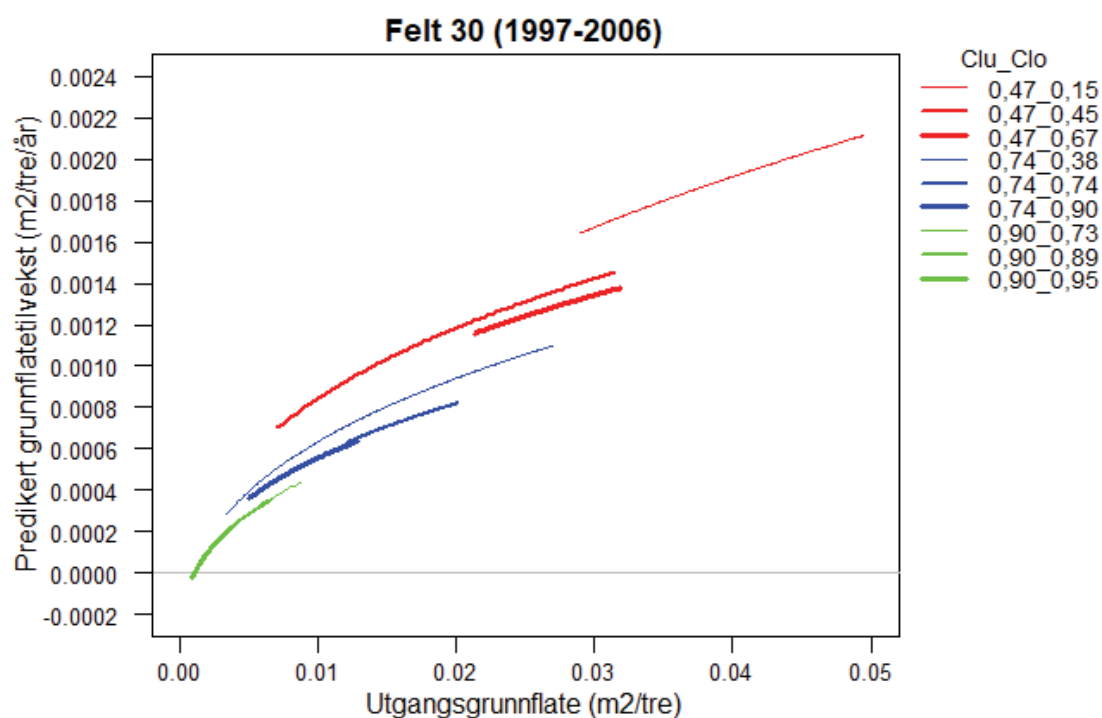
Figur 10. Residual over Clu.



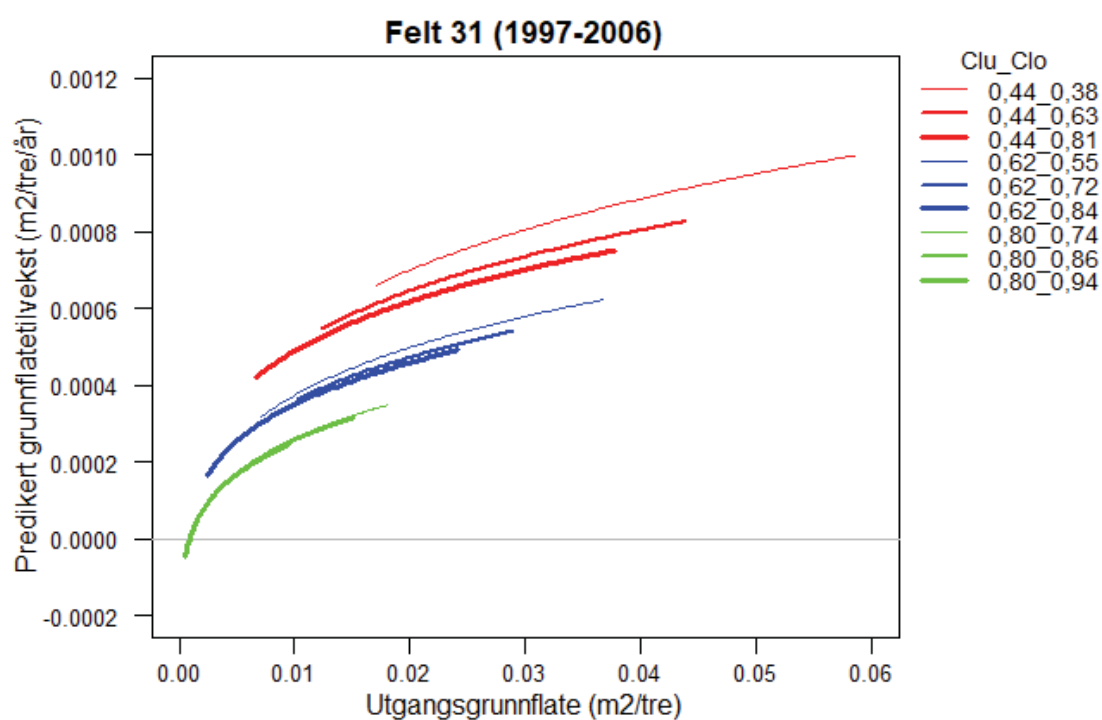
Figur 11. Residual over  $Clo$ .

### 3.8 1997-2006

Modellen i denne perioden er redusert for vekselvirkninger mellom utgangsgrunnflate og  $CIu$  og modellen som helhet forklarer 68 % av variasjonen i grunnflatetilvekst til enkelttrærne. Figur 12 og 13 viser predikert grunnflatetilvekst ( $m^2/tre$ ) som funksjon av utgangsgrunnflate ( $m^2/tre$ ) i henholdsvis felt 30 og 31 i perioden 1997-2006 ved ulike nivåer av  $CIu$  og  $Clo$ . Enkeltilveksten i begge feltene øker med økende utgangsgrunnflate, men forholdsmessig raskere for de minste granene og kurvene flater sakte ut ved økende utgangsgrunnflate. Kurvene viser at  $CIu$  har større effekt på tilveksten enn  $Clo$  og at tilveksten reduseres med økende konkurransebelastning fra de to sjiktene. Modellen predikerer på samme måte som i perioden 1992-1997 høyere tilvekst i felt 30 enn i felt 31. Dette stemmer fint overens med resultatene i tabell 2, hvor grunnflate per ha i begge sjikt i 1997 og dermed konkurransebelastningen forventes å være lavest i felt 30.

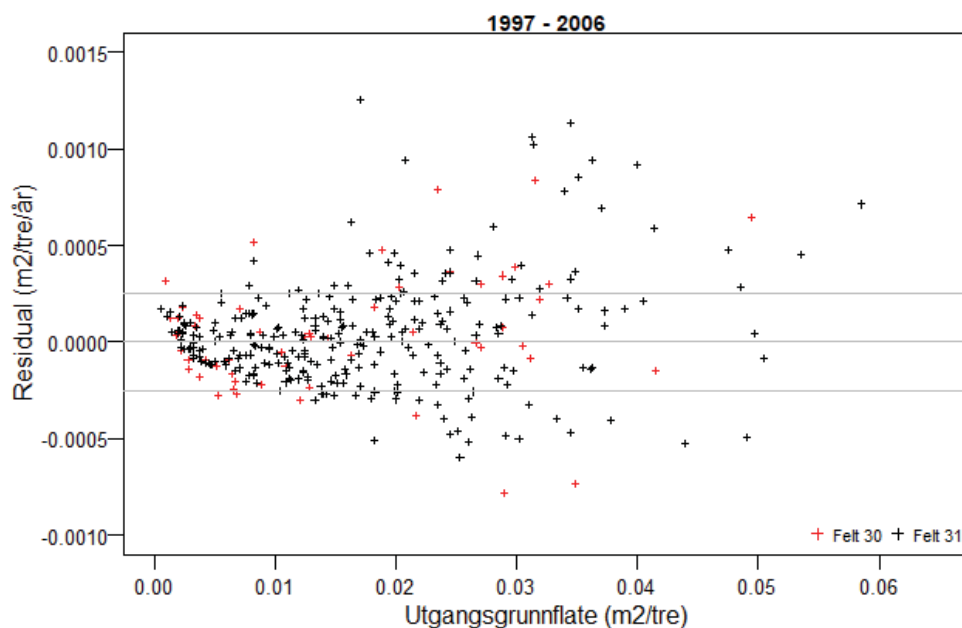


Figur 12. Predikert grunnflatetilvekst i felt 30. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av Clu og Clo.

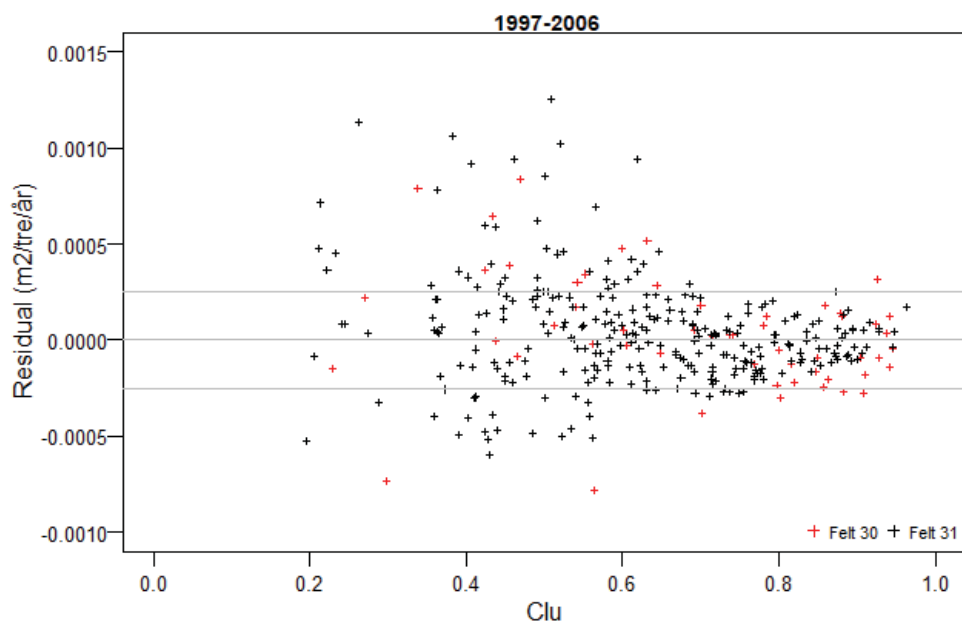


Figur 13. Predikert grunnflatetilvekst i felt 31. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av Clu og Clo.

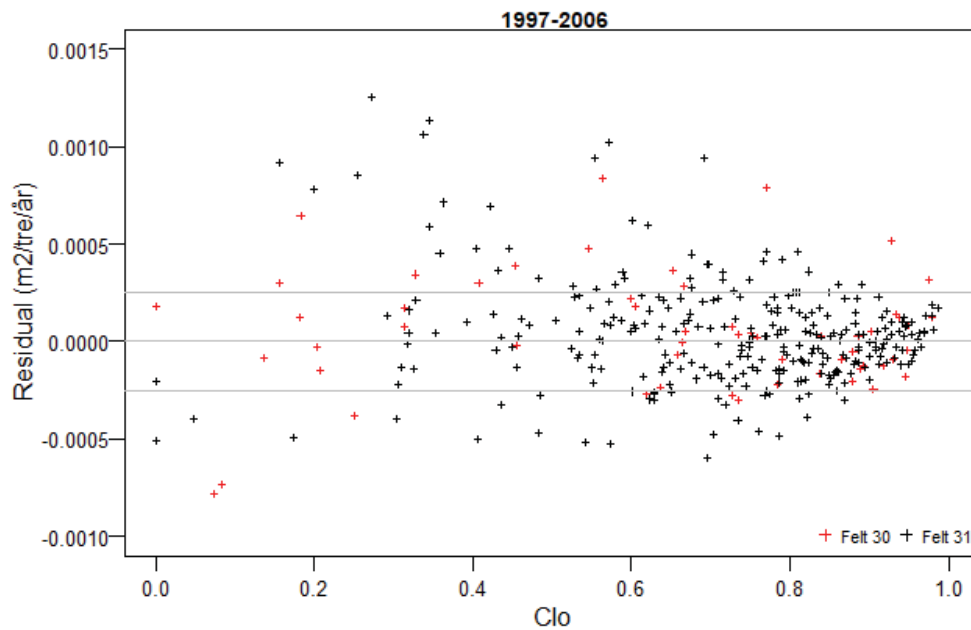
Residualgrafene (figur 14, 15 og 16) viser ingen trender i form av systematisk over- eller underpredikering av grunnflatetilveksten, men grafene viser at størrelsen på restfeilene rundt observasjonene endrer seg. I figur 14 viser grafen en tendens til heteroskedastisitet og at restfeilene øker i størrelse med økende utgangsgrunnflate. Den samme tendens sees i figur 15 med synkende  $Clu$ , mens figur 16 viser at det generelt er stor varians i prediksjonene fra høy til lav  $Clu$ .



Figur 14. Residual over utgangsgrunnflate.



Figur 15. Residual over  $Clu$ .



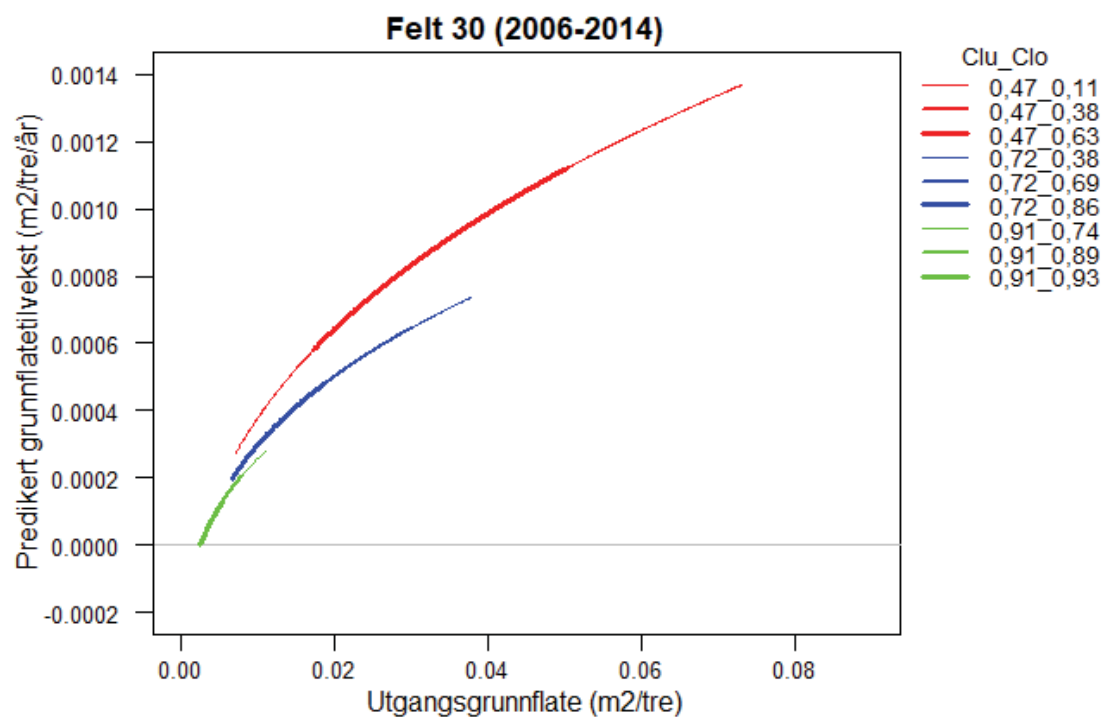
Figur 16. Residual over  $Clo$ .

### 3.9 2006-2014

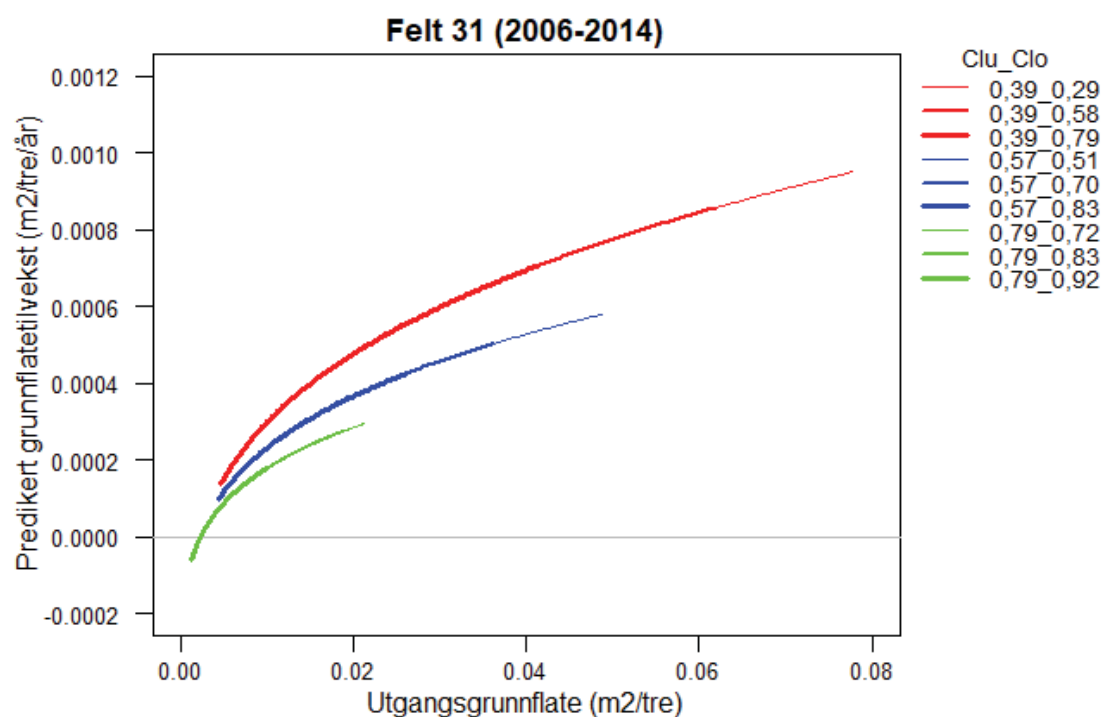
I denne perioden forsvinner effekten fra furu-oversjiktet ( $p = 0,411$ ) og bare utgangsgrunnflate sammen med konkurranseeffekten fra  $CIu$  og interaksjoner mellom utgangsgrunnflate og  $CIu$  er med til å forklare grunnflatetilveksten til fokustrærne. Modellen som helhet forklarer 63 % av variasjonen i grunnflatetilvekst til fokustrærne.

Figur 17 og 18 viser predikert grunnflatetilvekst ( $m^2/tre$ ) som funksjon av utgangsgrunnflate ( $m^2/tre$ ) i henholdsvis felt 30 og 31 i perioden 2006-2014 ved ulike nivåer av  $CIu$  og  $Clo$ .

Som i de foregående periodene øker tilveksten forholdsmessig raskere for trær med liten utgangsgrunnflate enn større trær og tilveksten fortsetter å øke med økende utgangsgrunnflate. Effekten av  $CIu$  sees tydelig i figurene, som viser at grunnflatetilveksten reduseres i takt med økende  $CIu$ . Estimater til parameter  $a_{f30}$  er redusert i forhold til de foregående periodene, hvilket indikerer redusert forskjell men fremdeles høyere tilvekst i felt 30 i forhold til felt 31. Dette kan stemme med resultatene i tabell 2. Grunnflaten ( $m^2/ha$ ) i undersjiktet i 2006 har jevnet seg ut mellom feltene, mens grunnflaten i oversjiktet er vesentlig høyere i felt 31. Det er imidlertid ingenting i feltoversikten (tabell 2) som indikerer at konkurransen fra oversjiktet skal være redusert i forhold til tidligere.



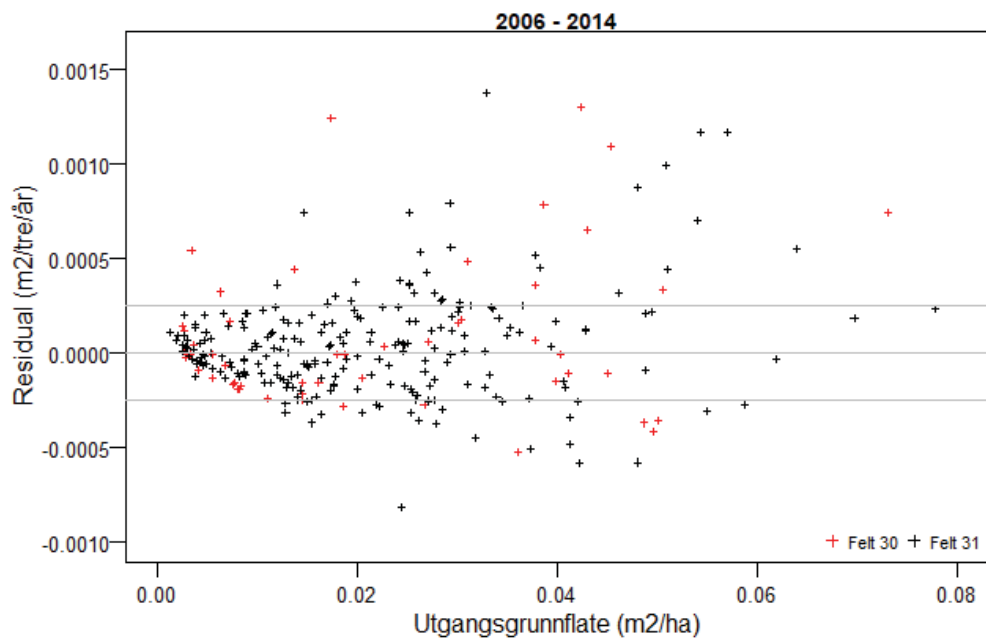
Figur 17. Predikert grunnflatetilvekst i felt 30. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av Clu og Clo.



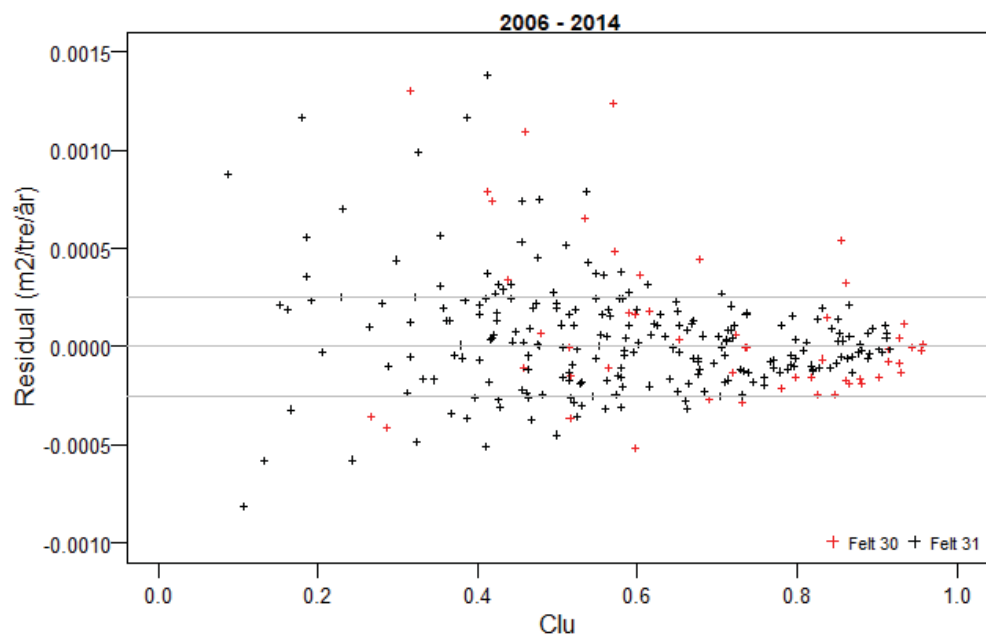
Figur 18. Predikert grunnflatetilvekst i felt 31. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av Clu og Clo.



Residualgrafene (figur 19 og 20) viser ingen trender i form av systematisk over- eller underpredikering av grunnflatetilveksten, men grafene viser at størrelsen på restfeilene rundt observasjonene endrer seg. I figur 19 viser grafen en tendens til heteroskedastisitet, og at restfeilene øker i størrelse med økende utgangsgrunnflate, som har blitt mere markant i forhold til de foregående periodene. Figur 20 viser på samme måte som i tidligere perioder økt residualspreddning med redusert *Clu*.



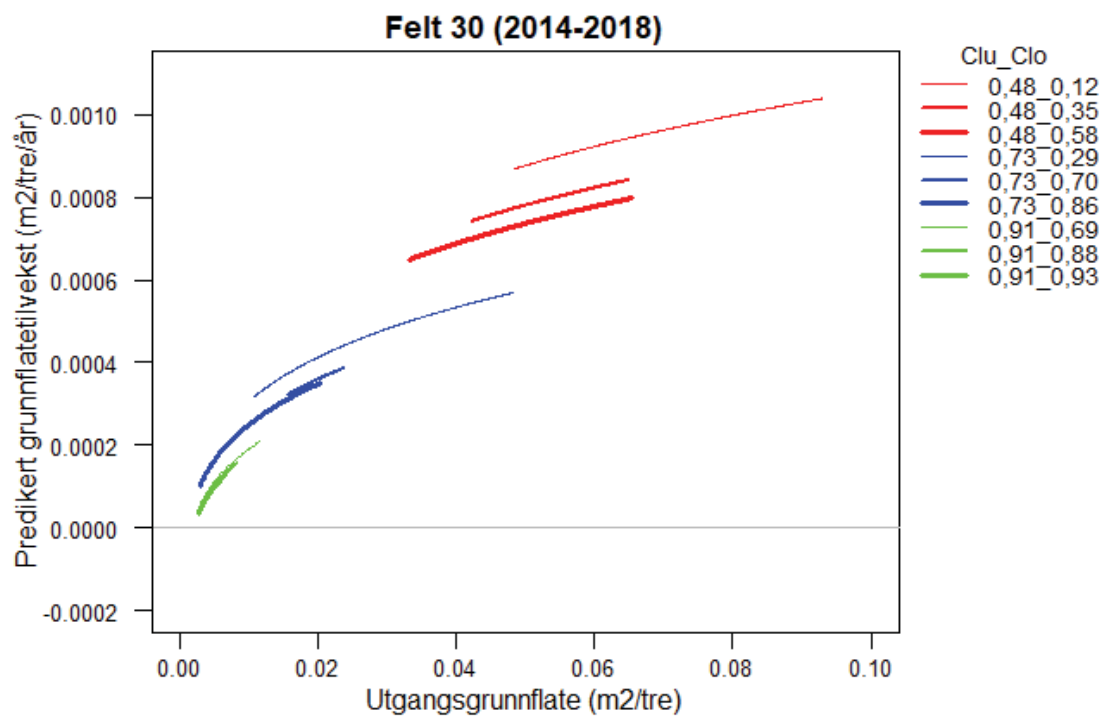
Figur 19. Residual over utgangsgrunnflate.



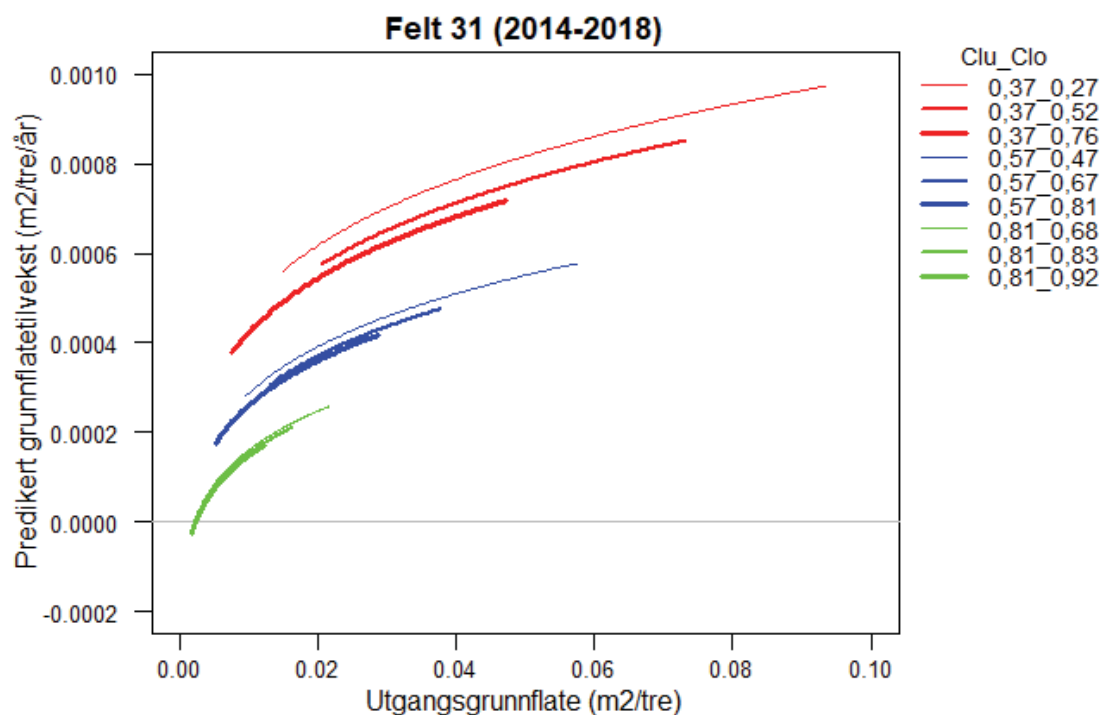
Figur 20. Residual over *Clu*.

### 3.10 2014-2018

Modellen i denne perioden er redusert for dummyvariabelen som skiller felt 30 fra 31 med hensyn til parameteren  $b_g$  og interaksjoner mellom utgangsgrunnflate og de to konkurranseindeksene. Modellen forklarer 60 % av variasjonen i grunnflatetilvekst til enkelttrærne. Figur 21 og 22 viser predikert grunnflatetilvekst ( $m^2/tre$ ) som funksjon av utgangsgrunnflate ( $m^2/tre$ ) i henholdsvis felt 30 og 31 i perioden 2014-2018 ved ulike nivåer av  $CIu$  og  $CIo$ . Figurene viser at tilveksten øker forholdsvis raskere for trær med liten utgangsgrunnflate og fortsetter å øke med økende utgangsgrunnflate. Effekten av  $CIu$  og  $CIo$  på grunnflatetilveksten er tydelig for begge feltene. Tilvekstskurvene viser at  $CIu$  har større effekt enn  $CIo$  og at tilveksten reduseres med økende konkurransebelastning fra de to sjiktene.

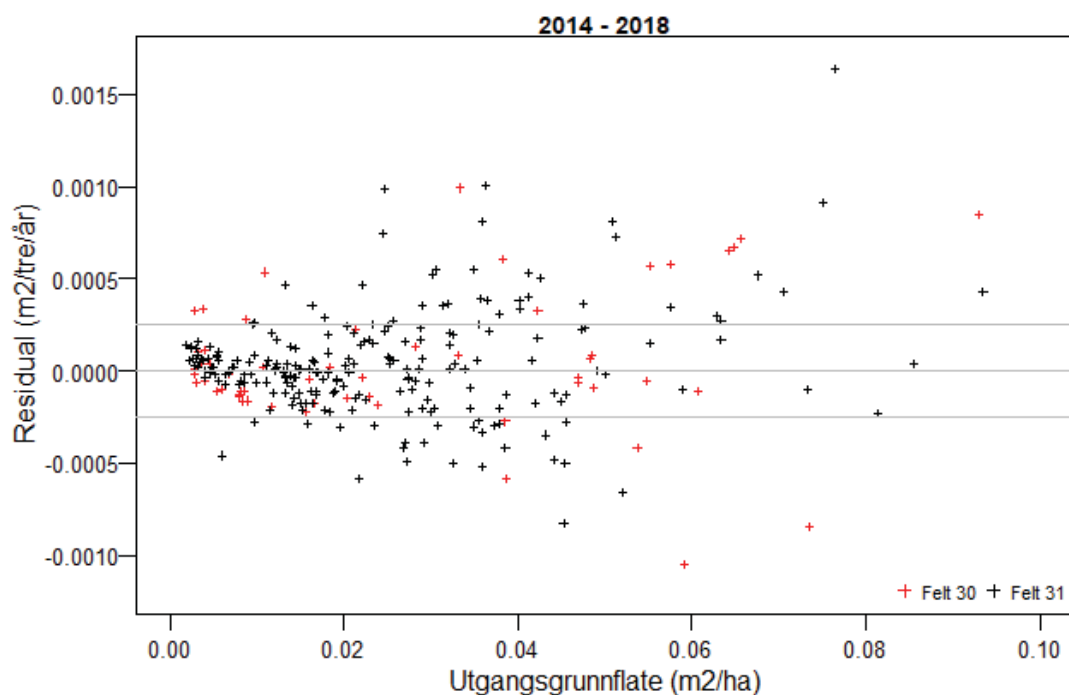


Figur 21. Predikert grunnflatetilvekst i felt 30. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av  $CIu$  og  $CIo$ .

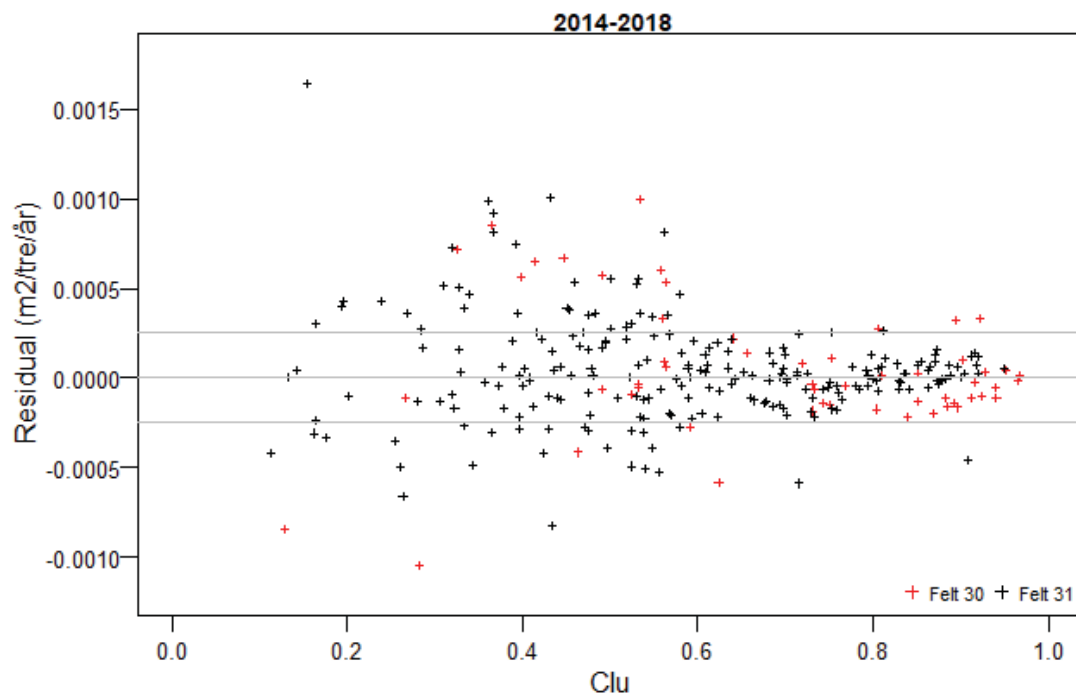


Figur 22. Predikert grunnflatetilvekst i felt 31. Kurvene viser predikert tilvekst ved ulike nivåer av *Clu* og *Clo*.

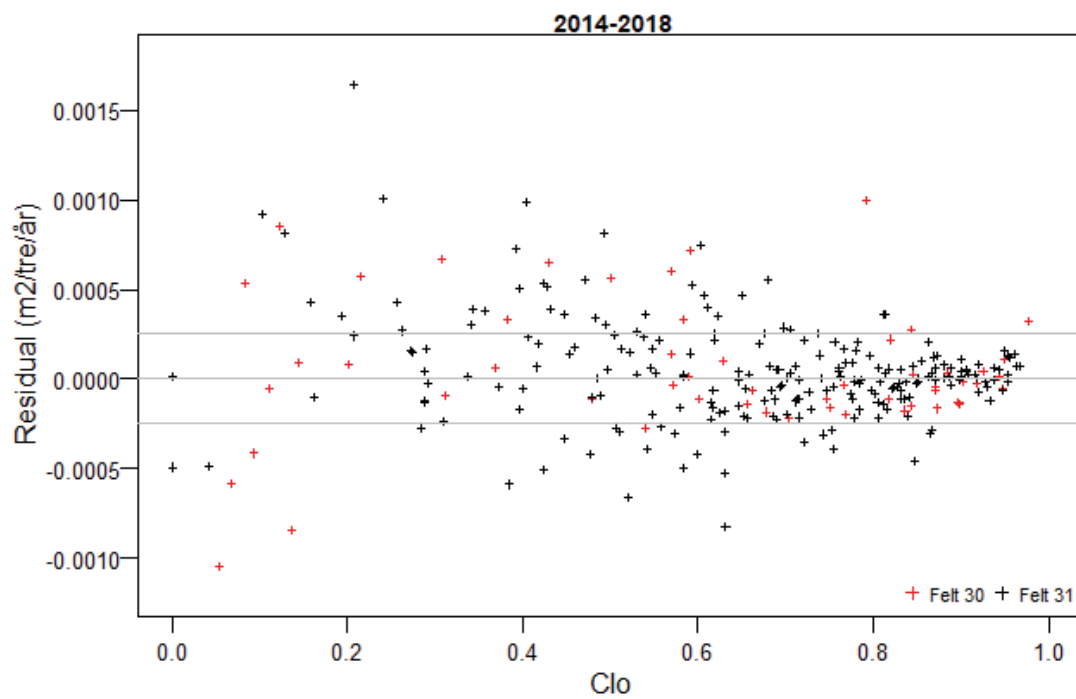
Residualgrafene (figur 23, 24 og 25) viser ingen trender i form av systematisk over- eller underpredikering av grunnflatetilveksten, men grafene viser at størrelsen på restfeilene rundt observasjonene endrer seg. I figur 23 viser grafen en tendens til heteroskedastisitet og at restfeilene øker i størrelse med økende utgangsgrunnflate. Den samme tendens sees i figur 24 og 25 med henholdsvis synkende *Clu* og *Clo*.



Figur 23. Residual over utgangsgrunnflate.



Figur 24. Residual over Clu.



Figur 25. Residual over Clo.

## 4.0 Diskusjon

### 4.1 Enkeltretilvekst

I denne studien ble det brukt enkeltrebaserte vekstmodeller og to distanseavhengige konkurranseindekser til å undersøke hvordan tilveksten i et gran-undersjikt påvirkes av et undersjikt bestående av hovedsakelig gran og et oversjikt bestående av hovedsakelig furu i fire vekstperioder. Residualer plottet over utgangsgrunnflate (figur 9, 14, 19 og 23) og de to konkurranseindeksene (figur 10, 11, 15, 16, 20, 24 og 25) viste tendenser til heteroskedastisitet. Imidlertid var det ingen tegn til systematisk under- eller overpredikering av grunnflatetilvekst og i de endelige modellene varierte  $R^2_{adj}$  fra 0,6935 til 0,5954 (tabell 4) fra første til siste periode. På den bakgrunn ble det vurdert at modellene med de to konkurranseindeksene forklarte variasjonen i grunnflatetilvekst tilfredsstillende til å svare på spørsmålene formulert i innledningen. Dog virker det påfallende at effekten av  $CI_o$  i perioden 2006-2014 ikke lengre er signifikant ( $p = 0,411$ ). Effekten er signifikant i den etterfølgende perioden, hvilket kan bety at det skjer noe i perioden 2006-2014 som fører til en midlertidig endring konkurranseforholdene mellom trærne i gran-undersjiktet og oversjiktet, men dette var ikke mulig å bekrefte.

Regresjonsresultatene viste at grunnflatetilveksten i hovedsak forklares av utgangsgrunnflaten til fokustreet, mens  $CI_u$  har større innvirkning enn  $CI_o$ . Dette viser at gran er en større konkurrent enn furu til trærne i gran-undersjiktet og er rapportert i en tidligere studie som omhandler naturlig forynget gran og furu i uensaldrede tosjiktede blandingsbestand (Rubtsov et al., 2016). Effekten av konkurranse fra oversjikt og undersjikt er synliggjort i figur 7, 8, 12, 13, 17, 18, 21 og 22). Tilveksten øker forholdsvis raskere for små trær og fortsetter å øke med økende utgangsgrunnflate, med en tendens til at kurvene flater ut. Grunnflatetilveksten til granene på enkeltrenivå forventes å øke med økende grunnflate til treet, frem til et kulminasjonspunkt hvorefter tilveksten sakte reduseres. Dette er vist i tidligere studier (Monserud og Sterba, 1996) og for diameter-tilvekst (Pretzsch og Biber, 2010). Dette var ikke mulig å få frem med de dataene som ble brukt i denne studien, hvilket sannsynligvis skyldes manglende store trær i datasettet. Derfor indikerer tilvekstkurvene at grunnflatetilveksten i varierende grad fortsetter å øke med økende grunnflate, selv om dette i praksis ikke er tilfellet.

## 4.2 Feltoversikt

Resultatene for utvikling i granenes overhøyde (figur 3) viser at høydeutviklingen øker mere enn bonitetskurvene til Sharma et al. (2012) tilsier. Årsaken til den økte høydeutviklingen kan skyldes at de dominerende granene i undersjiktet vokser gradvis lengre inn i oversjiktet (figur 2) og at dette reduserer konkurransen lys. Det er ikke uventet at granene klarer å vokse inn i furusjiktet. Rubtsov et al. (2016) fant dette i eldre tosjiktede blandingsbestand bestående av naturlig forynget gran under furu på gode granboniteter, hvor de konkluderte at lys var den begrensende faktoren for høydevekst. Resultatene for utvikling i overhøyde i denne studien viser ikke hvilken effekt oversjikt og undersjikt har på høydeutviklingen til granene i feltene, men resultatene indikerer at granene klarer å omstille seg i takt med at konkurransen reduseres. For de 400 grøveste trær per ha i gran-undersjiktet i feltene er utviklingen i middeldiameter redusert, sammenlignet med det simulerte referansebestandet (figur 4), til tross for at det samlede treantallet og grunnflaten per ha i feltene (tabell 2) er lavere enn i referansen. Det er som forventet at diameter- og høydeutvikling påvirkes og er dokumentert i andre studier som omhandler tosjiktede blandingsbestand. Kabzems et al. (2015) studerte utvikling i tosjiktede osp og hvitgranblandinger kontra rene hvitgranbestand frem til alder 25 år og dokumenterte liten skjermeffekt på granenes utvikling i middelhøyde ved skjermtetthet på 1000 osp/ha i skjermen sammenlignet med renbestand. Osp hadde betydelig effekt på utviklingen i middeldiameter i brysthøyde sammenlignet med renbestand, men det var liten forskjell mellom de ulike tettheter som varierte mellom 1000 og 10000 osp/ha. Resultatene er basert på 25 år gamle bestand og med andre treslag enn i denne studien. Likevel indikerer de på samme måten som i feltene at skjermen i oversjiktet har innvirkning på veksten, men at forskjellene mellom de ulike skjermtettheter er små. Lignende resultater er rapportert i yngre tosjiktede bestand bestående av gran i undersjiktet og bjørk i oversjiktet (Tham, 1994), men med lavere skjermtetthet enn i osp/hvitgran-blandingene. Med simuleringer viste hun at 600 bjørk i skjermen ikke hadde negativ effekt på volumproduksjonen til gran i undersjiktet, frem til bestandsalder 25, men at veksten til gran var redusert mellom bestandsalder 25 og 40 år. Samlet viser litteraturgjennomgangen at gran i yngre tosjiktede blandingsbestand tåler høy konkurranse og resultatene av enkeltretilveksten i felt 30 og 31 samt arealstatistikkene gir en indikasjon på, at det kan være tilfeller hvor dette også gjelder eldre tosjiktede blandingsbestand.

## 5.0 Konklusjon

Til å beskrive enkelttre-tilveksten ble brukt en enkelttrebasert tilvekstmodell. Tilveksten reduseres i forhold til konkurransebelastningen og konkurranse fra et undersjikt bestående av nesten ren gran har større effekt på enkeltretilveksten i gran-undersjiktet enn konkurranse fra et oversjikt bestående av nesten ren furu. Arealstatistikkene viser at gran på denne lokaliteten har klart vokse til dimensjoner som kan sammenlignes med gran i renbestand, på tross av konkurranse fra oversjiktet. Denne studien gir ikke grunnlag for å komme med skjøtselsanbefalinger for tosjiktede blandingsbestand, men en regulering av tettheten i gran i undersjiktet kan være den beste måten å optimere tilveksten til enkelttrærne. I kombinasjon med dette bør oversjiktet ikke bli for tett, og kan kanskje ligge på ett nivå tilsvarende det som er rapportert her.

## 6.0 Referanser

- BRAASTAD, H. 1975. Produksjonstabeller og tilvekstmodeller for gran. Norsk Institutt for Skogforskning
- COLL, L., AMEZTEGUI, A., COLLET, C., LOF, M., MASON, B., PACH, M., VERHEYEN, K., ABRUDAN, L., BARBATI, A., BARREIRO, S., BIELAK, K., BRAVO-OVIEDO, A., FERRARI, B., GOVEDAR, Z., KULHAVY, J., LAZDINA, D., METSLAID, M., MOHRENS, F., PEREIRA, M., PERIC, S., RASZTOVITS, E., SHORT, I., SPATHELF, P., STERBA, H., STOJANOVIC, D., VALSTA, L., ZLATANOV, T. & PONETTE, Q. 2018. Knowledge gaps about mixed forests: What do European forest managers want to know and what answers can science provide? *Forest Ecology and Management*, 407, 106-115.
- DN-RAPPORT 2002. Naturens verdier og tjenester, en vurdering av norsk natur ved tusenårsskiftet. Pilotstudie 2000. Direktoratet for Naturforvaltning.
- DROSSLER, L. 2010. Tree species mixtures - a common feature of southern Swedish forests. *Forestry*, 83, 433-441.
- FELTON, A., NILSSON, U., SONESSON, J., FELTON, A. M., ROBERGE, J. M., RANIUS, T., AHLSTROM, M., BERGH, J., BJORKMAN, C., BOBERG, J., DROSSLER, L., FAHLVIK, N., GONG, P., HOLMSTROM, E., KESKITALO, E. C., KLAPWIJK, M. J., LAUDON, H., LUNDMARK, T., NIKLASSON, M., NORDIN, A., PETTERSSON, M., STENLID, J., STENS, A. & WALLERTZ, K. 2016. Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden. *Ambio*, 45 Suppl 2, 124-39.
- GIUGGIOLA, A., ZWEIFEL, R., FEICHTINGER, L. M., VOLLENWEIDER, P., BUGMANN, H., HAENI, M. & RIGLING, A. 2018. Competition for water in a xeric forest ecosystem – Effects of understory removal on soil micro-climate, growth and physiology of dominant Scots pine trees. *Forest Ecology and Management*, 409, 241-249.
- GRANHUS, A. & ERIKSEN, R. 2017. Resultatkontroll skogbruk/miljø. Rapport 2016. Norsk institutt for skog og landskap.
- HAVERAAGEN, O. 1981. Vekst hos furu etter rydding av gran underbestand. Norsk Institutt for skogforskning.
- HUGERSHOFF, R. 1936. Die mathematischen Hilfsmittel des Kulturingenieurs und Biologen. Vol 2. Herleitung von gesetzmässigen zusammenhängen. Dresden.
- JONSSON, B. 2001. Volume yield to mid-rotation in pure and mixed sown stands of pure *Pinus sylvestris* and *Picea abies* in Sweden. *Studia Forestalia Suecica*, 211, 19.
- KABZEMS, R., BOKALO, M., COMEAU, P. & MACISAAC, D. 2015. Managed Mixtures of Aspen and White Spruce 21 to 25 Years after Establishment. *Forests*, 7.
- LIER-HANSEN, S., VEDEL, P., MAGNUSSEN, K., ASLAKSEN, I., ARMSTRONG, C., HESSEN, D., SCHEI, P. J., BREKKE, K. A., NYBØ, S., SØRHEIM, K., CLEMENTSEN, M., MÄLER, K.-G., BRENDEMØEN, A., BRÅTEN, K. G., KATERÅS, F. & SÆTHER, B. A. 2013. Naturens goder – om verdier av økosystemtjenester. Norges offentlige utredninger.
- LINDÉN, M. & AGESTAM, E. 2003. Increment and Yield in Mixed and Monoculture Stands of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* Based on an Experiment in Southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 18, 155-162.
- LIU QUINGHONG, H. H. 1991. Gap structure, disturbance and regeneration in a primeval *Picea abies* forest. *Journal of Vegetation Science*, 2, 391-402.
- LONG, J. N., DEAN, T. J. & ROBERTS, S. D. 2004. Linkages between silviculture and ecology: examination of several important conceptual models. *Forest Ecology and Management*, 200, 249-261.
- METSLAID, M., ILISSON, T., VICENTE, M., NIKINMAA, E. & JOGISTE, K. 2005. Growth of advance regeneration of Norway spruce after clear-cutting. *Tree Physiology*, 25, 793-801.
- MIINA, J. & PUKKALA, T. 2000. Using numerical optimization for specifying individual-tree competition models. *Forest Science*, 46, 277-283.



- MONSERUD, R. A. & STERBA, H. 1996. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, 80, 57-80.
- POMMERENING, A., LEMAY, V. & STOYAN, D. 2011. Model-based analysis of the influence of ecological processes on forest point pattern formation-A case study. *Ecological Modelling*, 222, 666-678.
- PRETZSCH, H. & BIBER, P. 2010. Size-symmetric versus size-asymmetric competition and growth partitioning among trees in forest stands along an ecological gradient in central Europe. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 40, 370-384.
- PRETZSCH, H., BIBER, P. & DURSKEY, J. 2002. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management*, 162, 3-21.
- PRETZSCH, H. & ZENNER, E. K. 2017. Toward managing mixed-species stands: from parametrization to prescription. *Forest Ecosystems*, 4:19, 1-17.
- RUBTSOV, M. V., GLAZUNOV, Y. B. & NIKOLAEV, D. K. 2016. Regenerative and age dynamic of spruce population in pine plantations under conditions typical for spruce development. *Contemporary Problems of Ecology*, 9, 884-893.
- SHARMA, R. P., BRUNNER, A. & EID, T. 2012. Site index prediction from site and climate variables for Norway spruce and Scots pine in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27, 619-636.
- SSB. 2018. *Skogavvirkning for salg* [Online]. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav/aar-endelige>: SSB. [Accessed 05.05.2019 2019].
- THAM, Å. 1994. Crop plans and yield predictions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth & *Betula pubescens* Ehrh.) mixtures. *Studia Forestalia Suecica*, 195, 21.
- TVEITE, B. 1976. Bonitetskurver for furu. In: SKOGFORSKNING., N. I. F. (ed.) *Manus (Upubl)*.
- VALINGER, E. & FRIDMAN, J. 2011. Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 262, 398-403.
- WOODALL, W. C., ANTHONY, D. A. W., BRADFORD, B. J. & FINLEY, O. A. 2011. Effects of Stand and Inter-Specific Stocking on Maximizing Standing Tree Carbon Stocks in the Eastern United States. *Forest Science*, 57 365-378.
- ÖRLANDER, G. & KARLSSON, C. 2000. Influence of Shelterwood Density on Survival and Height Increment of *Picea abies* Advance Growth. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 15, 20-29.



**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway