



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp
Institutt for Naturforvaltning

Greintilvekstmodell for gran

Branch increment model for Norway spruce

Olaf Hesselberg Indby
Master i skogfag

Forord

I løpet av fem år på skogfagstudiet ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet er det skogskjøtsel som har vekket størst interesse. Derfor var det naturlig å velge en masteroppgave med et tema innenfor for skogskjøtsel. Jeg har også tatt noen ekstra valgfag innenfor statistikk og det virket interessant å prøve å utvikle en greintilvekstmodell.

Takk til veileder Andreas Brunner, ved Institutt for naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, for god hjelp med modellutvikling, interesse for oppgaven og tilbakemeldinger underveis.

Olaf Hesselberg Indby

11. Mai 2017

Sammendrag

Formålet med denne studien var å utvikle en greintilvekstmodell for gran (*Picea abies* (L.) H. Karst). Studien er unik i Norge ved at diametertilveksten ble registrert, ved å måle årringbredder, hos 229 greinprøver. Greinprøvene kom fra ti prøvetrær på to prøveflater i samme bestand i Aurskog-Høland. Dataene ble samlet inn i 2007, og blant annet diameter i brysthøyde, greinhøyde, og greindiameter til alle greiner i samme greinkrans som greinprøvene ble registrert. Tre modeller ble utviklet for å beskrive gjennomsnittlig greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) for greinene de siste tre årene. Modell 3 var mest egnet til å predikere greingrunnflatetilvekst basert på data om greinhøyde, prøvetrærnes grunnflate og greinutgangsgrunnflate (i 2003). Variabelen med greinutgangsgrunnflate var en interaksjonsvariabel med greinutgangsgrunnflate multiplisert med greinhøyde. Modell 3 hadde høyest R^2_{adj} (0.42) og lavest RMSE (4.74). En stor del av variasjonen i greingrunnflatetilvekst mellom greinene ble derfor ikke forklart av modellen. Gjennomsnittlig greingrunnflatetilvekst for samtlige greiner brukt som datagrunnlag i modellen var $8.8 \text{ mm}^2/\text{år}$ og en RMSE på $4.7 \text{ mm}^2/\text{år}$ er derfor høyt. Til tross for dette ble det funnet noen viktige sammenhenger i studien. Greinhøyde alene forklarte 33% av variasjonen i greingrunnflatetilveksten og hadde generelt størst effekt på greingrunnflatetilveksten i modellen. Greingrunnflatetilveksten økte både ved økende greinhøyde og ved økende greinutgangsgrunnflate. Effekten av greinhøyde / greinutgangsgrunnflate på greingrunnflatetilveksten økte også ved økende greinutgangsgrunnflate / greinhøyde. Modellen ble tilpasset hvert enkelt prøvetre og for samtlige prøvetrær var det en positiv effekt av greinhøyde på greingrunnflatetilvekst. For greinutgangsgrunnflate var det en positiv effekt på greingrunnflatetilveksten hos åtte av ti prøvetrær. Modell 3 predikerte ikke greingrunnflatetilveksten til to av prøvetrærne på en god måte. For å utvikle en generell greintilvekstmodell for Norge må data andre regioner registreres.

Abstract

The aim of this study was to develop a branch increment model for Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst). The study is unique in Norway since the diameter increment was recorded, by measuring annual ring width, for 229 branch samples. The branch samples came from ten sample trees from two sample plots within the same stand in Aurskog-Høland. The data were collected in 2007, and along with other data, diameter at breast height, branch height, and branch diameter for all branches in the same branch whorls as the branch samples were recorded. Three models were developed to describe the average branch basal area increment (mm^2/year) for the branches over the past three years. Model 3 was most suitable for predicting branch basal area increment based on data for branch height, the sample trees basal area at breast height and branch basal area (in 2003). The variable with branch basal area were an interaction variable with branch basal area multiplied with branch height. Model 3 had the highest R^2_{adj} (0.42) and lowest RMSE (4.74). Therefore, a large part of the variation in branch basal area increment between the branches was not explained by the model. The average branch basal area increment for all the branches used as data in the model was $8.8 \text{ mm}^2/\text{year}$ and an RMSE of $4.7 \text{ mm}^2/\text{year}$ is therefore high. Despite this, some important relations were found in the study. Branch height alone explained 33% of the variation in branch basal area increment and generally had the greatest effect on branch basal area increment in the model. Branch basal area increment increased both at increasing branch height and at increasing branch basal area. The effect of branch height / branch basal area on the branch basal area increment also increased at increasing branch basal area / branch height. The model was adapted to each sample tree and for all sample trees increasing branch height had a positive effect on branch basal area increment. Increasing branch basal area had a positive effect on branch basal area increment for eight of the sample trees. Model 3 did not predict the branch basal area increment for two of the sample trees in a good way. To develop a general branch increment model for Norway data from other regions must be recorded.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	1
2 Material og metode	4
2.1 Forsøksområde	4
2.2 Datainnsamling og databehandling	4
2.2.1 Prøveflater	4
2.2.2 Prøvetrær	5
2.2.3 Registrering av årringbredde og diametertilvekst i greinprøver	7
2.2.4 Barktykkelse	9
2.3 Statistisk analyse	10
2.3.1 Responsvariabel	10
2.3.2 Konkurransen innad i prøvetrærne	12
2.3.3 Konkurransen mellom trærne	13
2.3.4 Modeller	14
3 Resultat	16
4 Diskusjon	29
4.1 Material og metode	29
4.2 Modellene	30
4.3 Videreutvikling	32
5 Referanseliste	34

1 Innledning

I skogforvaltningen er god tømmerkvalitet viktig for best mulig fortjeneste ved avvirkning på grunn av prisforskjellen mellom sagtømmer og massevirke. I 2016 var prisene for sagtømmer og massevirke henholdsvis 430 og 201 kroner/m³ på landsbasis (Skara and Steinset 2017). Tømmerkvaliteten bestemmes av flere virkesegenskaper, blant annet, krok, densitet, sjukdom og antall og størrelse på greiner. For gran er prima sagtømmer den best betalte kvalitetsklassifiseringen, og for selgere av tømmervirke av gran er det derfor ønskelig å oppnå høyest mulig andel prima sagtømmer. Med tanke på greindiameter godkjennes friskkvistdiameter opptil 4 cm for prima sagtømmer i Norge (Norsk Virkesmåling 2015). I tillegg må en tømmerstokk ha en viss toppdiameter for å være salgbar. Greindiameter er blant de vanligste årsakene til nedklassifisering av tømmerkvaliteten og selv en liten økning i gjennomsnittlig greindiameter kan gi en negativ effekt på tømmerkvaliteten, og dermed prisen, både for den enkelte tømmerstokk og på bestandsnivå (Maguire et al. 1999).

Tradisjonelt har skogforvaltningen fokusert på maksimering av volumproduksjon. Volumproduksjon er fortsatt viktig, men de siste tiårene har det vært økende fokus på virkeskvaliteten ved tømmerproduksjon. I dagens skogforvaltning er det ofte ønskelig å oppnå store trær på grunn av lavere avvirkningskostnader og god kvalitet på grunn av høyere priser (Lundqvist et al. 2014). Bestandstettheten påvirker tilveksten i både stammen og greiner til trær. Bestand med lavere tetthet vil gi trær med tykkere og lengre greiner, sammenlignet med bestand med høyere tetthet ved like vekstbetingelser (Vestol and Hoibo 2001). Høy volumproduksjon på bestandsnivå og virkeskvalitet i forhold til mindre greindiameter kan kombineres ettersom volumproduksjonen er høyest i full tette bestand. For skyggetålende treslag som gran er det vist at opptil 50% av grunnflaten kan tas ut ved tynninger uten vesentlig reduksjon i volumproduksjonen (Makinen and Isomaki 2004, Skovsgaard and Vanclay 2008). Grove enkelttrær og høy volumproduksjon er derfor mulig å kombinere, men dette vil gi grøvre greiner. Gjennom skogskjøtsel kan virkesegenskaper, som bestemmer virkeskvaliteten, og vekstegenskaper i hovedsak påvirkes ved regulering av bestandstetthet og valg av fremtidstrær. De fleste forsøk med forskjellig utgangstetthet for bestand i de nordiske

landene har vist at skogskjøtsel påvirker enkeltrærnes vekst og kvalitetsegenskaper på helt motsatt måte (Fahlvik et al. 2005). Skogskjøtselstiltak som fremmer enkeltrærnes diametertilvekst vil gi trær med dårligere virkeskvalitet, med blant annet større greiner, og skogskjøtselstiltak som fremmer virkeskvalitet vil resultere i flere, men mindre enkeltrær. I praktisk skogbruk er det med dagens omløpstider vanskelig å oppnå grove trær med høy kvalitet, og ofte vil skogforvaltere prøve å finne en balanse mellom grove enkeltrær og høy kvalitet (Lundqvist et al. 2014).

Vekstmodeller kan være viktige og nyttige verktøy når man skal fatte beslutninger i skogforvaltningen. Tradisjonelt har modeller ofte skilt mellom trærnes vekst- og kvalitetsegenskaper (Makela and Makinen 2003). Vekstmodeller skiller mellom bestandsmodeller og enkelttremodeller. Bestandsmodeller egner seg bare for ensaldrede bestand med i hovedsak et treslag. Det kan være stor variasjon i vekst mellom trær innad i et bestand. Dette kan skyldes forskjellig konkurransesituasjon, genetiske forskjeller og lokale variasjoner i vekstbetingelser på grunn av ulike jordbunnsforhold. Det er sjelden man har informasjon om variasjon i jordbunnsforhold, men enkelttremodeller kan bedre beskrive forskjeller i konkurransesituasjonen innad i bestand. Dette gjør enkelttremodeller til et nødvendig verktøy i skogforvaltningen. Enkelttremodeller er et fleksibelt verktøy som gir mer informasjon på enkelttrenivå samtidig som det kan beskrive skogens utviklingen på bestandsnivå gjennom summering (Pretzsch et al. 2002). Dette gjør at de kan brukes både for ensaldrede og rene bestand og for flersjiktete og/eller blandingsbestand.

De fleste vekstmodeller som beskriver greiner er statiske enkelttremodeller. Statistiske grenmodeller beskriver greinene for enkeltrær basert på variabler som diameter i brysthøyde, årlig årringbredde og alder. Bruken av statistiske grenmodeller er ofte begrenset til å anslå virkeskvalitet, med tanke på greiner, ved tidspunktet for avvirkning og ikke til å predikere bestandsutviklingen. I Norge er en statisk greinmodell utviklet for gran av Vestøl og Høibø (2001). Den predikerer maksimal greindiameter for enkeltrær (gjennomsnittlig greindiameter til de to grøveste greinene, i samme greinkrans, per tre), basert på diameter i brysthøyde, bonitet og høyde til kronen. En avstandsuavhengig bestandssimulator som inkluderer greinegenskaper er utviklet for gran av Hein et al. (2007) i Tyskland. Bestandssimulatoren inkluderer en greinmodell som predikerer

maksimal greindiameter per greinkrans per tre basert på diameter i brysthøyde, høyde/diameter forholdet til trærne og greinkransen sin plassering i kronen.

Dynamiske vekstmodeller som inkluderer konkurransesituasjonen, og inkluderer tilveksten og overlevelsen til greinene, kan bedre beskrive et bestands vekst og kvalitet til enhver tid i løpet av omløpstiden (Makela and Makinen 2003). Bare noen få dynamiske greinmodeller har blitt inkludert i vekstmodeller for skog. Blant de nordiske landene har Mäkelä og Mäkinen (2003) i Finland utviklet en dynamisk vekstmodell, PipeQual, som inkluderer greinegenskaper. PipeQual ble først utviklet for furu før Kantola et al. (2007) tilpasset PipeQual til gran. PipeQual bestod først av to moduler: tre og greinkrans før Mäkelä og Mäkinen (2003) utviklet en ny modul for greiner som skal beskrive greinegenskaper, inkludert greindiameter-tilvekst, basert på data om treet og greinkransene. PipeQual predikerer diameter til tykkeste grein per greinkrans og gjennomsnittlig greindiameter per greinkrans som en funksjon av greinens distanse fra toppen av treet og trestørrelse og skiller mellom eldre tette bestand, eldre glisne bestand, tette middelaldrende bestand og glisne middelaldrende bestand. PipeQual simulerer for ett og ett år og på den måten kan tilveksten simuleres. En dynamisk greinmodell har ennå ikke blitt utviklet for Norge.

Med økende fokus på negative effekter på biologisk mangfold og CO-utslipp fra store hogstflater, har interessen for mulighetene for alternative, selektive hogster økt. En konsekvens av dette kan i fremtiden være flere heterogene fleraldrete bestand, som vil gi et økt behov for avstandsavhengige vekstmodeller som beskriver enkelttrærnes greinutvikling. Gizachew og Brunner (2011) fant at norske skoger totalt sett er ganske romlig heterogene, basert på data fra Landsskogtakseringen som dekker det meste av det produktive skogarealet i Norge. Avstandsavhengige greinmodeller er derfor nødvendig i Norge.

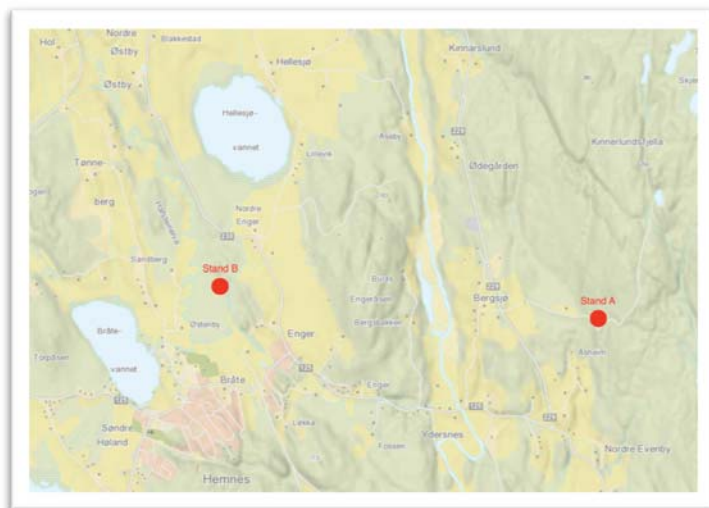
Denne studien fokuserer på gran (*Picea abies* (L.) H. Karst), som er det kommersielt viktigste treslaget i Norge. Gran stod for nesten 75% av det kommersielt solgte volumet i Norge, i 2016 (Skara and Steinset 2017). Formålet med denne studien var å utvikle en modell som beskriver tilveksten i grangreiner, basert på konkurransesituasjonen både innad i prøvetrærne og mellom trærne.

2 Material og metode

2.1 Forsøksområde



Figur 1. Oversikt over beliggenheten til Hemnes I Aurskog-Høland (skjermdump fra www.norgeskart.no).



Figur 2. Kart over beliggenheten til bestand A og B i Hemnes (skjermdump fra www.norgeskart.no).

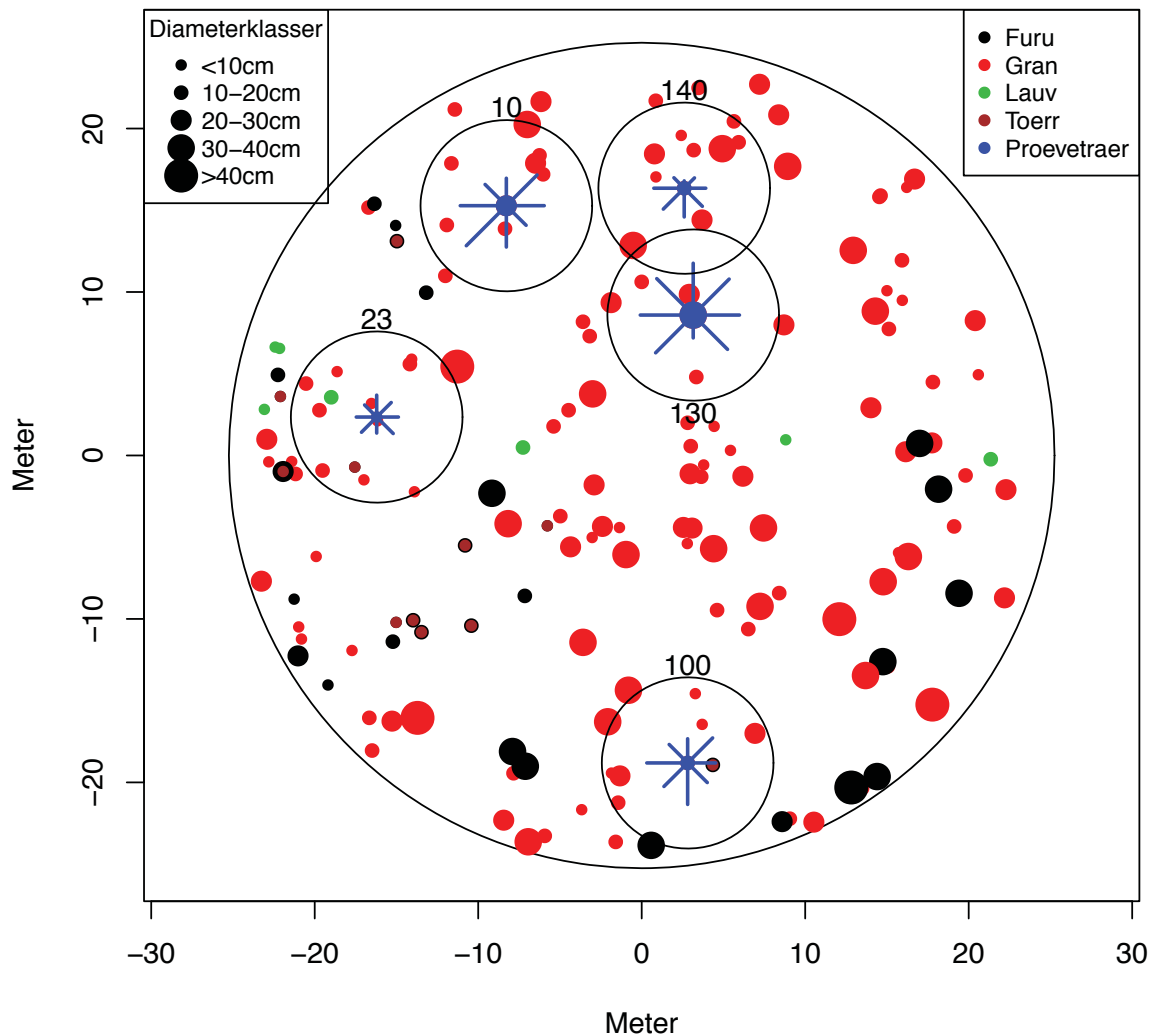
Dataene til denne studien ble samlet inn fra to bestand (bestand A og bestand B) i Hemnes i Aurskog-Høland kommune i Akershus fylke (se oversiktskart figur 1 og 2). Dataene ble samlet inn våren 2007 i forbindelse med en annen masteroppgave (Lien, V. 2007.), så siste vekstsesong er 2006. Kravet for valg av bestand var at gran skulle være det dominerende treslaget. I denne studien er kun data fra bestand A benyttet.

2.2 Datainnsamling og databehandling

2.2.1 Prøveflater

Det ble etablert 3 prøveflater i hvert av bestandene. Alle prøveflatene var en sirkel med radius 25,25 meter, som tilsvarer 2000 m² (nøyaktig 2003 m²). Innenfor prøveflaten ble det gjort en totalklaving av diameter i brysthøyde(dbh) for alle trær, med klavearmen mot sentrum av prøveflaten. I tillegg ble posisjonene til alle trær på prøveflatene registrert basert på retning og avstand fra sentrum av prøveflaten.

Flate A1

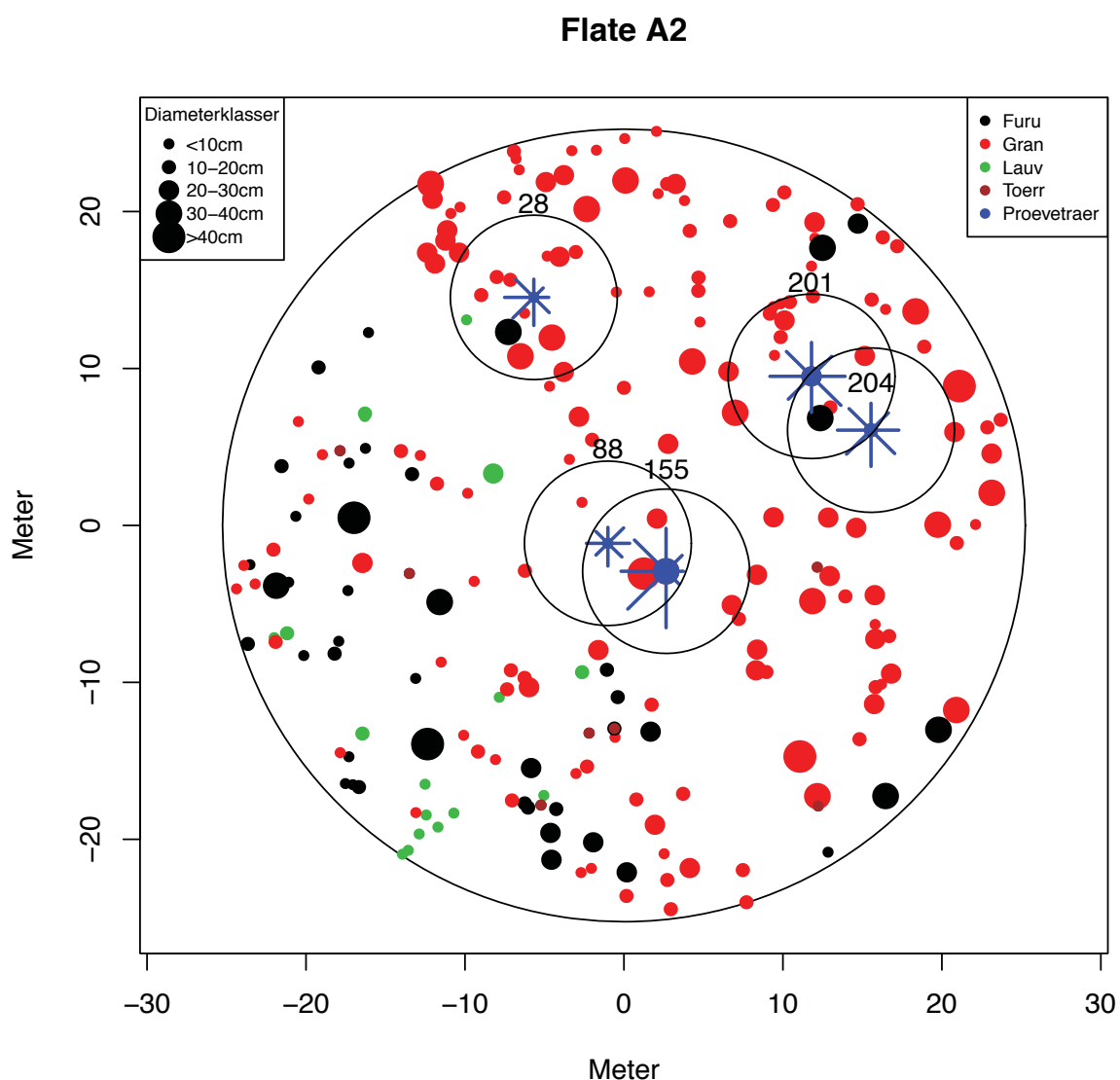


Figur 3. Oversikt over alle trær på prøveflate A1. Prøvetrærne er markert med stjerner i blått og nummerert med sitt trenummer på prøveflaten. De blå linjene viser kroneutstrekning til prøvetrærne i 8 himmelretninger (nord, øst, sør, vest, nordøst, sørøst, sørvest og nordvest). I tillegg er det laget en sirkel rundt hvert prøvetre med radius 5.25 meter, som viser konkurransesituasjonen til hvert enkelt prøvetre.

2.2.2 Prøvetrær

På hver prøveflate ble trærne delt inn i fem diameterklasser basert på målt dbh på prøveflaten. Fem prøvetrær av gran ble valgt ut til felling på hver prøveflate, ett i hver diameterklasse, for å registrere greindata. De utvalgte prøvetrærnes posisjon på prøveflate A1 og A2 er markert i figur 3 og 4. På grunn av konkurranse utenfor prøveflaten var det et krav et prøvetrærne skulle stå maksimum 20 meter fra prøveflatens sentrum. Før felling ble kroneutstrekningen registrert i åtte

himmelretninger. I tillegg ble himmelretningene nord, sør, øst og vest markert i brysthøyde på stammen slik at man kunne finne himmelretningen på oversiden av stammen etter felling. For hver meter langs stammen ble de to grøvste tilgjengelige greinene valgt ut. Tilgjengelig vil si at de greiner som havnet under stammen eller satt fast i bakken etter felling ikke ble valgt. På de to grøvste greinene per meter ble diameter (45° fra oversiden av greina og utenfor basissvulsten til greina inn mot stammen), greinlengde, to greinvinkler (vinkel til første 10 cm av greina og tuppen av greina), de siste 10 skuddene på greina registrert.



Figur 4. Oversikt over alle trær på prøveflate A2. Prøvetrærne er markert med stjerner i blått og nummerert med sitt trenummer på prøveflaten. De blå linjene viser kroneutstrekning til prøvetrærne i 8 himmelretninger (nord, øst, sør, vest, nordøst, sørøst, sørvest og nordvest). I tillegg er det laget en sirkel rundt hvert prøvetre med radius 5.25 meter, som viser konkurransesituasjonen til hvert enkelt prøvetre.

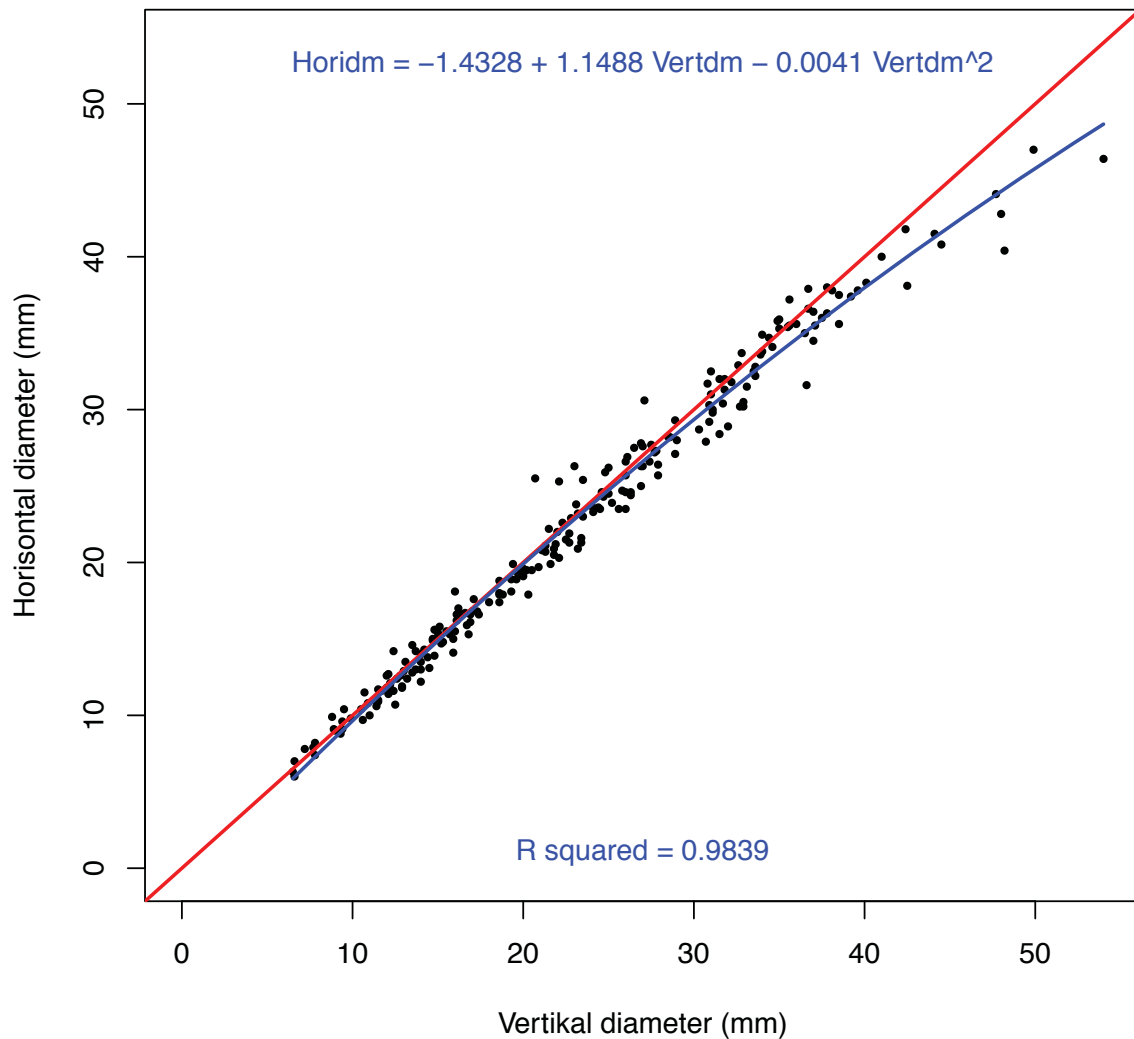
I tillegg ble diameter (45° fra oversiden av greina og utenfor basissvulsten til greina inn mot stammen), retning (vinkel fra oversiden av stammen og ned til greina), status (levende eller død) og høyde registrert på alle greiner som satt på samme greinkrans som de to grøvste greinene per meter. Dersom de to grøvste greinene per meter satt på to ulike greinkranser ble alle greiner på begge greinkransene registrert, dersom de to grøvste greinene per meter satt på samme greinkrans ble bare en greinkrans registrert på den meterseksjonen. En konsekvens av dette er ulik stikkprøveandel ved ulike meterseksjoner innenfor et prøvetre og mellom prøvetrærne, avhengig av om de har stor andel to eller en greinkrans(er) registrert per meterseksjon. Forskjellen i stikkprøveandel, sammenlignet med faktisk antall greinkranser, mellom prøvetrærne er også avhengig av prøvetrærnes høydetilvekst, ettersom lav høydetilvekst vil gi flere greinkranser per meter enn høy høydetilvekst.

2.2.3 Registrering av årringbredde og diametertilvekst i greinprøver

Det ble tatt greinprøver av de to grøvste greinene per meter, med lengde på ca. 10 cm, over greinens basissvulst. I tillegg ble oversiden av greinprøven og enden av greinprøven nærmest stammen av treet markert med sprittusj slik at disse kunne identifiseres senere. Greinprøvene har blitt oppbevart på et fryserom på NMBU frem til sommeren 2016. Tilsammen ble det samlet 638 greinprøver fordelt på de 30 prøvetrærne. Før måling ble prøvene bearbeidet for å lettere kunne se årringene. Samtlige prøver som er målt ble kappet ca. 1 cm fra greinenden nærmest stammen. Noen av prøvene var ikke fra før saget over basissvulsten og på disse prøvene ble det da saget 1 cm fra basissvulsten. I tillegg ble prøvene kappet til ca. 5 cm lengde for å være lettere å håndtere under målingen. Måling av greinprøvene før saging ble gjort med skyvelære, mens prøvene ble saget manuelt med håndsag. Etter kapping ble enden, nærmest stammen, skrapet med skalpell for å få en glatt side slik at det ble mulig å se årringgrensene ved målingen i mikroskopet.

Radiustilveksten til 229 greinprøver fra prøveflate A1 og A2 ble målt sommeren 2016. Dette ble gjort ved bruk av et Leica M50 mikroskop koblet til en LINTAB 6 Tree-ring station (© Rinntech), som igjen var koblet til en datamaskin med programvaren TSAPWin professional 4.68e (© Rinntech), via en LINTAB digital linear posisjonering (©

Rinntech) adapter. LINTAB 6 Tree-ring station har et håndtak som brukes til å flytte greinprøvene horisontalt under mikroskopet. Ettersom greinprøvene flyttes registreres dette i programvaren, med 1/100mm oppløsning, og hver årringgrense registreres manuelt med et tastetrykk på datamaskinen. Radiustilveksten ble målt i begge retninger horisontalt ut ifra margen, og utgjør til sammen diameterstilveksten horisontalt på greina. Denne metoden ble fulgt uavhengig av hvor i greina margen lå. En svakhet med denne metoden er at det var en del eksentriske greiner, som stort sett hadde margen vertikalt høyere opp enn faktisk sentrum av greina. Spesielt grøvre greiner hadde en tendens til å ha en del reaksjonsved på den nederste halvdelen, og dermed ha margen relativt høyere opp. Dette førte også til at ikke alle årringbredder ble målt vinkelrett på årringene som vil gi noe høyere årringbredde en faktisk årringbredde, som vil slå spesielt ut for årringer nærmere barken som har høyest avvik i vinkel. Årsaken til at det ble gjort på denne måten er at man her er interessert i horisontal diameterstilvekst og ikke årringbredde. For å undersøke eksentrisiteten til greinene ble diameteren til greinprøvene målt vertikalt og horisontalt. Disse målingene viste at for de grøvste kvistene, over ca. 30mm diameter, begynte vertikal diameter å bli høyere enn horisontal diameter. Ved rundt 40mm diameter hadde samtlige greiner høyere vertikal diameter enn horisontal diameter (Se figur 5). Denne forskjellen mellom vertikal og horisontal diameter støtter at det var korrekt å måle horisontal diameter for å beskrive diameterstilveksten.



Figur 5. Horisontal mot vertikal diameter for alle 229 greinprøver. Rød linje indikerer vertikal diameter = horisontal diameter. Blå linje er basert på formelen i figuren og indikerer sammenhengen mellom vertikal (Vertdm) og horisontal diameter (Horidm) i mm.

2.2.4 Barktykkelse

Barktykkelsen ble målt sammen med radiusen horisontalt i begge retninger. Det er ikke mulig å måle den årlige barktilveksten. På grunn av at dette er det ikke mulig rekonstruere barktykkelsen tilbake i tid. Derfor ble bare diameter-tilvekst under bark brukt i analysene.

2.3 Statistisk analyse

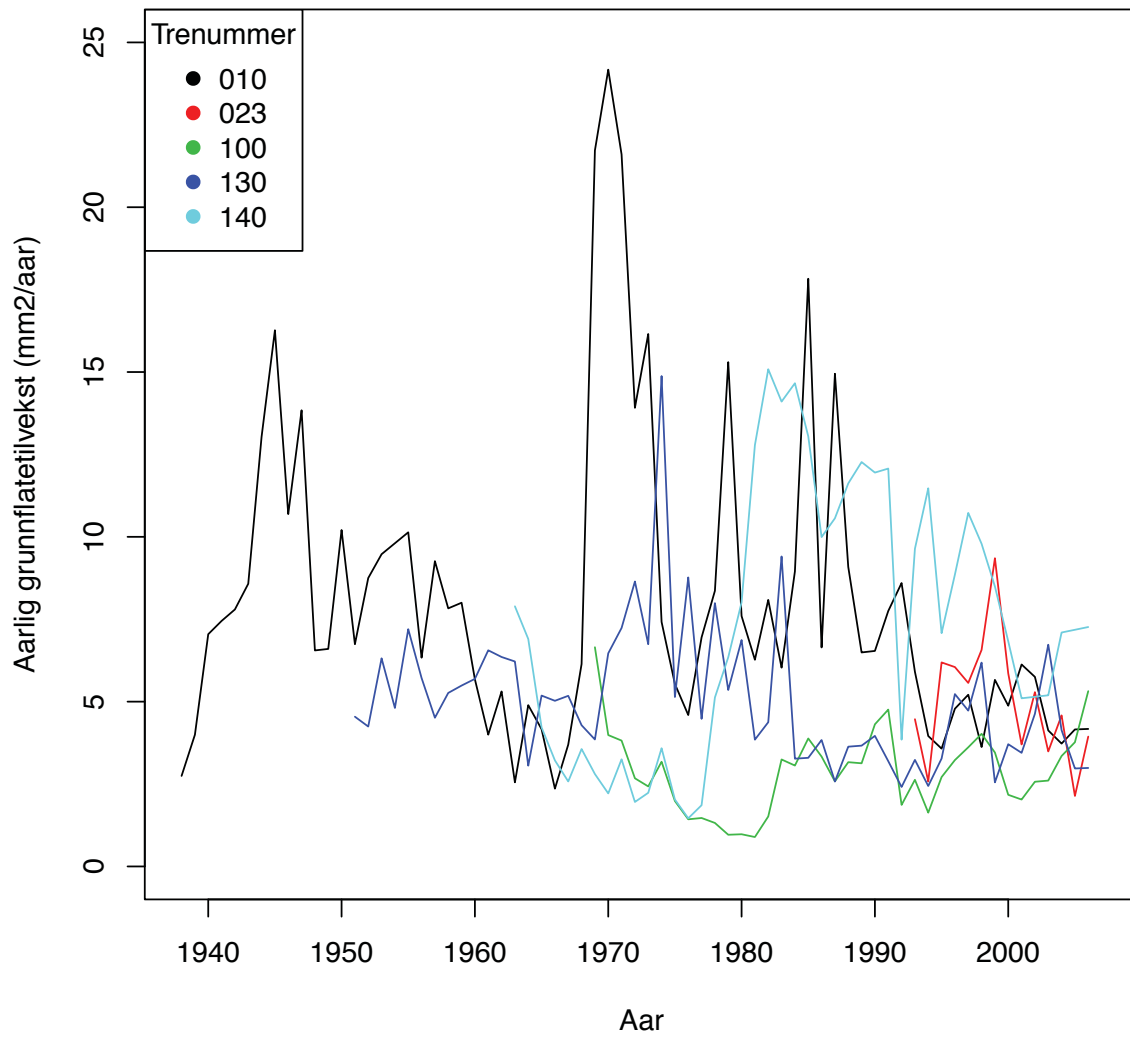
Til samtlige statistiske analyser har RStudio Desktop blitt brukt, et brukergrensesnitt tilpasset programmeringsspråket R. Hovedmålet med analysene var å lage en modell som beskriver tilveksten til greinene i alle prøvetrærne basert på variabler som beskriver både konkurransen innad i trærne og konkurransen mellom trærne.

2.3.1 Responsvariabel

Det ble først brukt diametertilvekst i analysene, men sammenhengen mellom diametertilvekst og konkurransen innad i treet var ikke-lineær. Sammenhengen mellom greingrunnflatetilveksten og konkurransen innad i trærne var lineær og var derfor et bedre valg å bruke i de statistiske analysene. Å bruke greingrunnflatetilveksten beskriver også bedre biomassetilveksten i treet ettersom en grøvre grein vil har større greingrunnflatetilvekst enn en mindre grein ved lik diametertilvekst. På bakgrunn av dette ble greingrunnflatetilvekst valgt som responsvariabel i modellene.

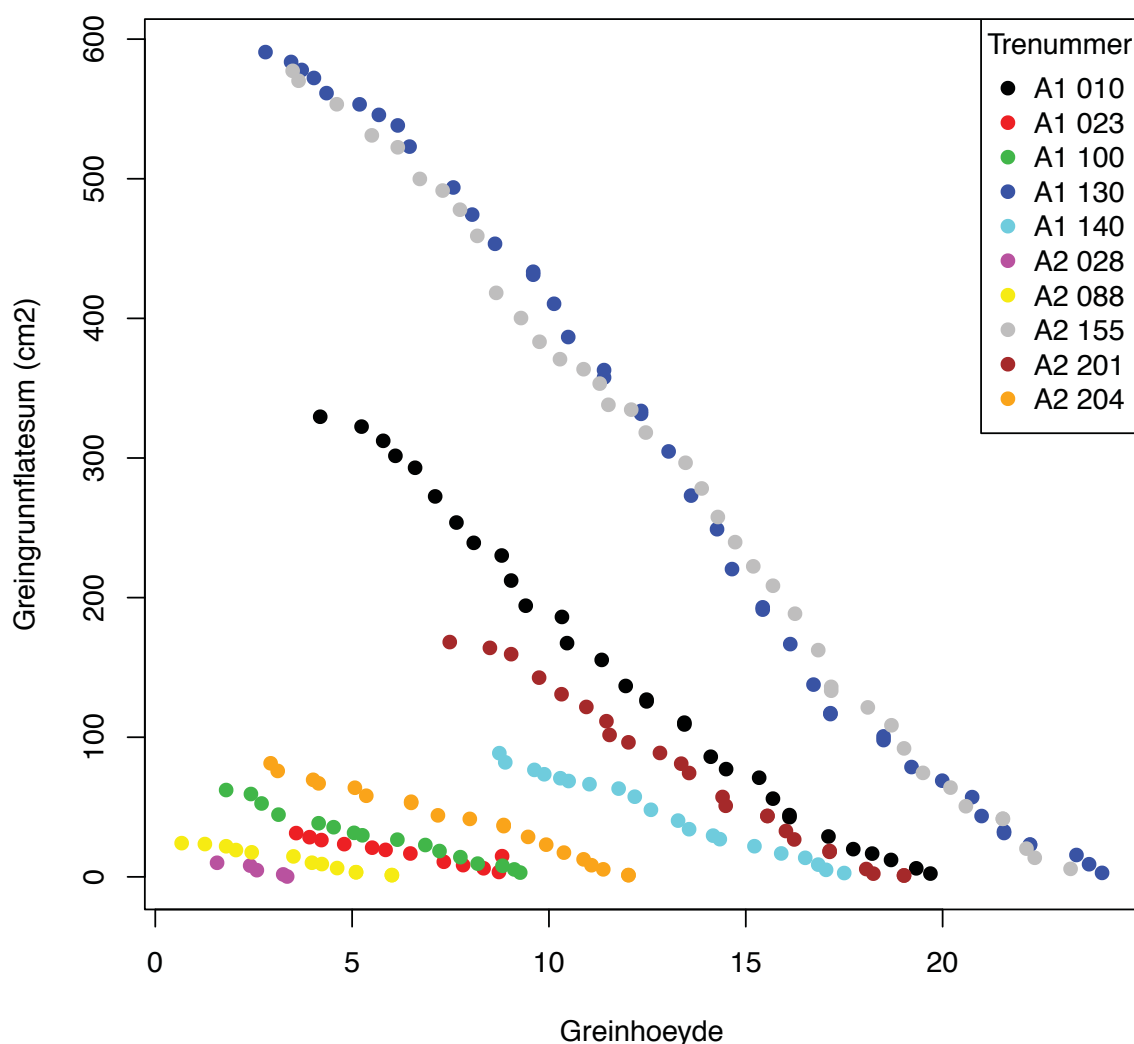
Diametertilveksten i greinene var tydelig størst i de første årene. Ved bruk av greingrunnflatetilvekst var det ingen tydelig sammenhengen mellom alder og greingrunnflatetilvekst. I figur 6 ser man at det er stor variasjon i greingrunnflatetilveksten fra år til år. For å ta høyde for noe av denne variasjonen og at konkurransebeskrivelsene i dataene bare gjelder for de siste årene, ettersom konkurransen forandrer seg over tid, ble det valgt å bruke gjennomsnittlig greingrunnflatetilvekst de siste 3 årene. Noe av årsakene til variasjonen i greingrunnflatetilvekst fra år til år kan være væreffekter, mens endringer i konkurransesituasjonen kan forklare noe av variasjonen over flere år hvor det er høyere eller lavere greingrunnflatetilvekst.

Nederste levende grein per tre flate A1



Figur 6. Årlig greingrunnflatetilvekst for nederste levende grein for hvert prøvetre på flate A1.

2.3.2 Konkurransse innad i prøvetrærne



Figur 7. Sammenhengen mellom greinhøe og greingrunnflatesum hvert enkelt prøvetre.

For å finne en variabel som beskriver konkurransen innad i trærne ble greingrunnflatesum basert på greindiameter fra samtlige andre greiner fra samme greinkrans og greinkranser høyere opp i treet enn en gitt grein (greingrunnflatesum) og greinhøe brukt. Greingrunnflatesum er estimert med noe feil ettersom greindiameter bare ble registrert for greiner i samme greinkrans som to grøveste greinene per meter. Det er også feil mellom prøvetrærne ettersom stikkprøveandelen, andelen en eller to greinkranser registrert per meter, varierer mellom prøvetrærne. Greingrunnflatesum varierer stort mellom trær avhengig av trærnes størrelse og vil ha helt forskjellig effekt på små og store trær. I ensaldrede tette bestand, som ble undersøkt i denne studien,

finner man gjerne en felles høyde til nederste levende grein Purves et. al (2007). Greinhøyde beskriver dermed konkurransen innad i trærne. Det er også sterk sammenheng mellom greingrunnflatesum og greinhøyde (se Figur 7). Ettersom greinhøyde er direkte sammenlignbar mellom trær, beskriver greinhøyde også noe av konkurransen mellom ulike trær.

Det var en del greiner med lik greinhøyde som hadde helt forskjellig greingrunnflatetilvekst. Greinutgangsgrunnflate i 2003 ble på grunn av dette inkludert i modellene. Det var også en del greiner med lik greinutgangsgrunnflate i 2003 som hadde helt forskjellig greingrunnflatetilvekst. På grunn av dette ble en interaksjonsvariabel mellom greinutgangsgrunnflate og greinhøyde/greingrunnflatesum inkludert i modellene. Tanken med interaksjonsvariabelen er at den vil forklare sammenhengen for ulike greingrunnflatetilvekst, mellom greiner med lik greinutgangsgrunnflate, men ulike høyde/greingrunnflatesum, og for greiner med lik høyde/greingrunnflatesum, men ulike greinutgangsgrunnflate. Ettersom greinutgangsgrunnflate i 2003 ble inkludert i modellene kunne ikke greiner som var 3 år og yngre inkluderes i modellene. Modellene er derfor ikke egnet til å beskrive tilveksten til greiner som er 3 år eller yngre. Totalt ble seks av de 229 greinene, fordelt på fire trær, fjernet fra datagrunnlaget i modellene.

2.3.3 Konkurransen mellom trærne

Figur 3 og 4 gir et oversiktsbilde over hvert enkelt prøvetres konkurransesituasjon og prøvetrærnes kroneutstrekning. Prøveflatene er 25.25 meter i radius og alle prøvetrærne skulle ikke stå mer enn 20 meter fra prøveflatesentrum. En konkurranseindeks kan derfor kun inkludere trær nærmere enn 5.25 meter fra prøvetreet. Konkurransen fra andre trær, spesielt for de mindre prøvetrærne, kan strekke seg utenfor 5.25 meter. Å beskrive konkurransesituasjonen basert på diameteren til trær innenfor 5.25 meter av prøvetreet kan derfor føre til systematiske feil for noen trær. En konkurranseindeks basert på grunnflatesummen/ha til alle levende trær innenfor 5.25 meter fra hvert prøvetre ble forsøkt i en modell. I tillegg ble prøvetrærnes egen grunnflate brukt som variabel for å forklare prøvetrærnes konkurransesituasjon.

2.3.4 Modeller

Modell 1:

$$iG3yr = cicr + pG + g03 * cicr$$

$iG3yr$ = Middel greingrunnflatetilvekst siste 3 år ($\text{mm}^2/\text{år}$)

$cicr$ = Greingrunnflatesum (mm^2)

pG = Prøvetreets grunnflate i brysthøyde (m^2)

$g03$ = Greinas utgangsgrunnflate i 2003 (mm^2)

Modell 2:

$$iG3yr = greinhøyde + Gha + g03 * greinhøyde$$

$iG3yr$ = Middel greingrunnflatetilvekst siste 3 år ($\text{mm}^2/\text{år}$)

Greinhøyde = Greinas høyde over bakken (målt langs stammen etter felling) (m)

Gha = Grunnflatesum basert på dbh til trær innenfor en radius på 5.25 meter rundt hvert prøvetre (m^2/ha)

$g03$ = Greinas utgangsgrunnflate i 2003 (mm^2)

Modell 3:

$$iG3yr = greinhøyde + pG + g03 * greinhøyde$$

$iG3yr$ = Middel greingrunnflatetilvekst siste 3 år ($\text{mm}^2/\text{år}$)

Greinhøyde = Greinas høyde over bakken (målt langs stammen etter felling) (m)

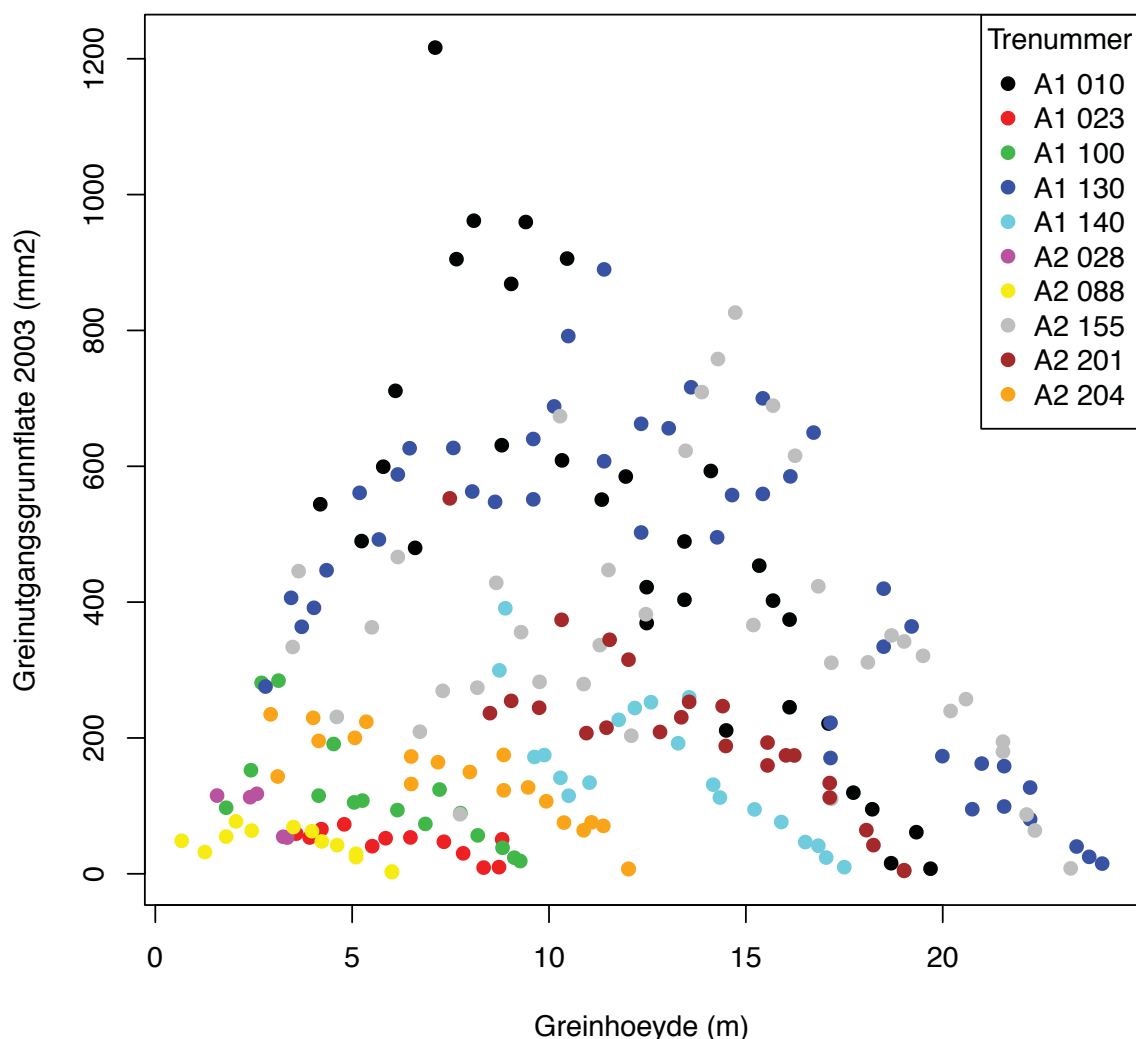
pG = Prøvetreets grunnflate i brysthøyde (m^2)

$g03$ = Greinas utgangsgrunnflate i 2003 (mm^2)

Modell 1 bruker greingrunnflatesum som variabel til å beskrive konkurransen innad i treet, mens modell 2 og 3 bruker greinhøyde. Modell 2 bruker grunnflatesum til å

beskrive konkurransesituasjonen til prøvetrærne, mens modell 1 og 3 bruker prøvetrærnes grunnflate.

3 Resultat

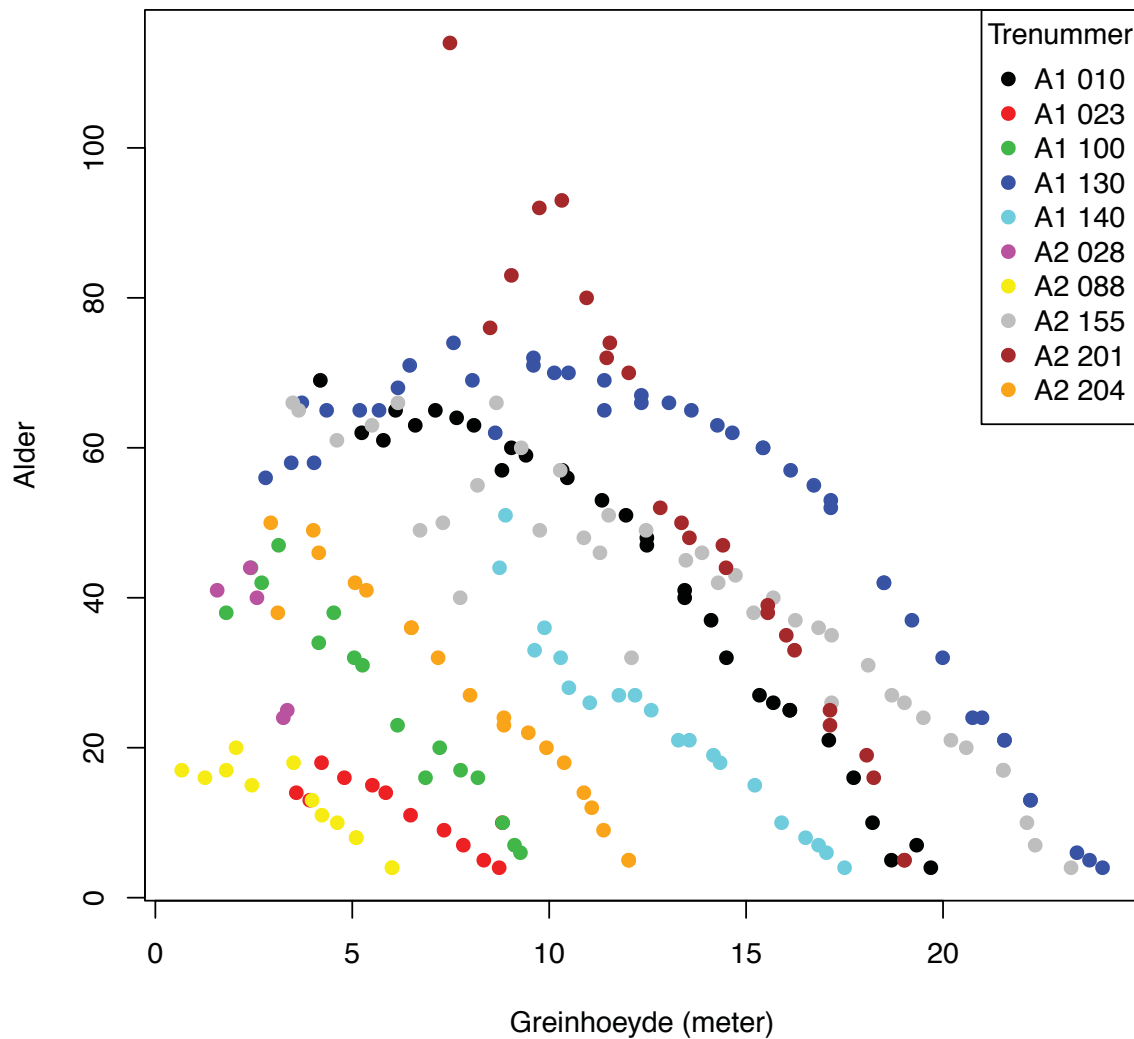


Figur 8. Greinutgangsgrunnflate (mm²) i 2003 mot greinhøyde for alle 10 prøvetrær.

Figur 8 viser sammenhengen mellom greinhøyde og greinutgangsgrunnflate i 2003. For de tre mest dominerende prøvetrærne (A1 010, A1 130 og A2 155) med størst greiner ser man tydelig at de grøvste greinene ikke sitter helt nederst i kronen. Det er også en tendens for dette hos noen av de andre prøvetrærne, men tendensen er mindre tydelig.

En modell med greingrunnflatetilvekst som responsvariabel og alder som forklaringsvariabel gav en svak negativ effekt av alder på $-0.04296 \text{ mm}^2/\text{år}$, men en R^2 på 0.02 tyder på at alder forklarer lite av variasjonen i greingrunnflatetilvekst. Det er også en sterk sammenheng mellom greinhøyde og alder, ettersom alder avtar oppover i kronen (se figur 9). For noen av de dominerende trærne er det tendenser til at

sammenhengen mellom greinhøyde og alder ikke er lineær fordi alderen avtar sterkere høyere oppe i kronen, ettersom høydetilveksten reduseres når trærne blir eldre. Dette betyr også at det kan være en større feil knyttet til stikkprøveandelen, med tanke på greingrunnflatesum, høyere oppe i kronen hos noen av de dominerende trærne.



Figur 9. Alder mot greinhøyde for samtlige prøvetrær.

Tabell 1. Parameterestimer, standardavvik og p-verdi for de ulike variablene i modell 1.

Parametere	Estimater	Standardavvik	P-verdi
Intercept	5.484	5.738e-01	
cicr	-4.593e-02	4.476e-03	2e-16
pG	1.157e+02	1.110e+01	2e-16
g03*cicr	5.210e-05	7.725e-06	1.35e-10
$R^2_{adj} = 0.4157$			
RMSE = 4.755879		Modell 1	

Tabell 2. Parameterestimer, standardavvik og p-verdi for de ulike variablene i modell 2.

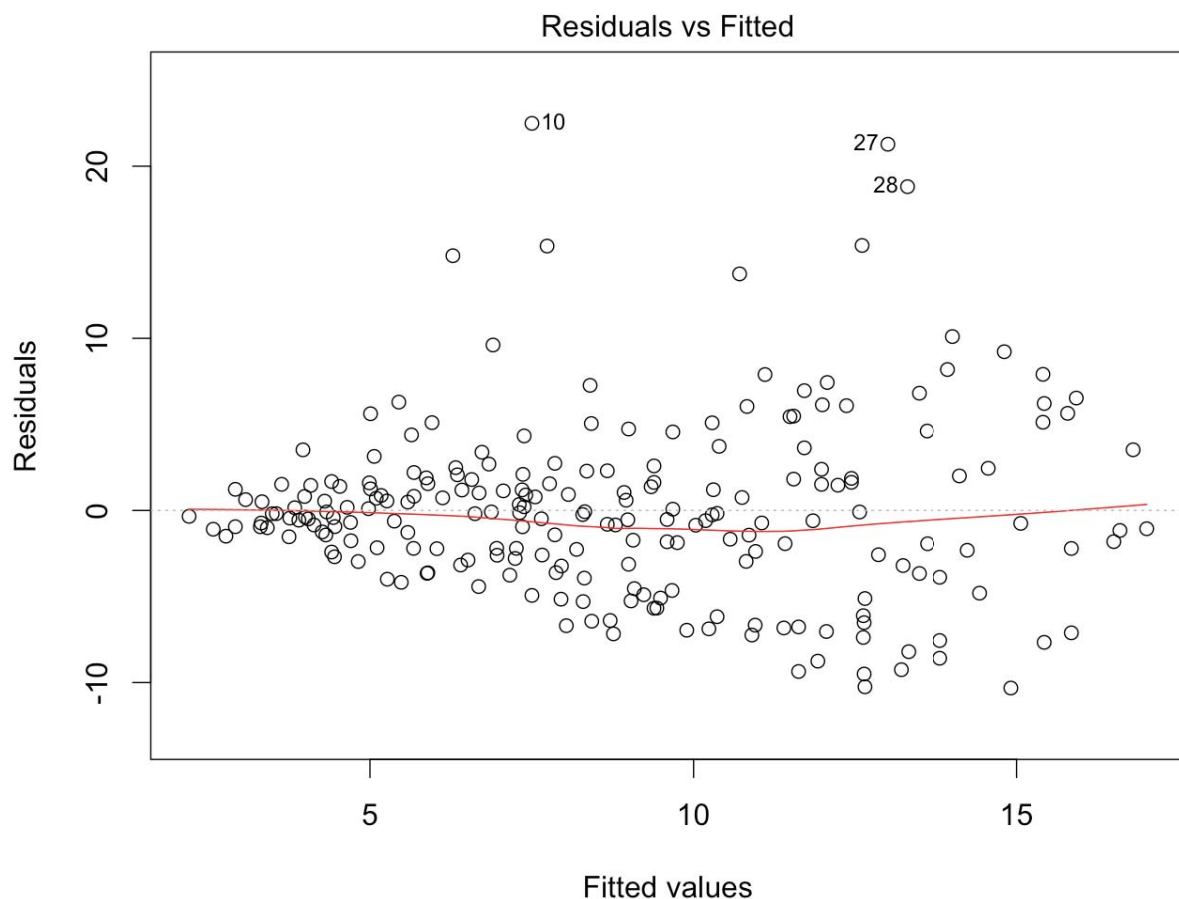
Parametere	Estimater	Standardavvik	P-verdi
Intercept	2.7716516	1.1935891	
Greinhøyde	0.5274954	0.0600323	4.53e-16
Gha	-0.0629626	0.0344264	0.0688
g03*greinhøyde	0.0006420	0.0001181	1.44e-07
$R^2_{adj} = 0.4166$			
RMSE = 4.752073		Modell 2	

Tabell 3. Parameterestimer, standardavvik og p-verdi for de ulike variablene i modell 3.

Parametere	Estimater	Standardavvik	P-verdi
Intercept	1.297	7.239e-01	
Greinhøyde	5.736e-01	6.507e-02	3.77e-16
pG	-2.477e+01	1.168e+01	0.0351
g03*greinhøyde	8.276e-04	1.403e-04	1.02e-08
$R^2_{adj} = 0.4196$			
RMSE = 4.739829		Modell 3	

Tabell 1, 2 og 3 viser parameterestimer og p-verdier for de ulike variablene og, R^2_{adj} og RMSE til modell 1, 2 og 3. Forskjellen mellom modell 2 og 3 er variabelen som beskriver konkurransesituasjonen mellom trærne. Modell 2 bruker grunnflatesum i m²/ha (Gha) fra trær innenfor 5.25 meter fra prøvetreet, modell 3 bruker prøvetrærnes grunnflate i brysthøyde i m² (pG). I modell 2 er grunnflatesum i m²/ha ikke statistisk signifikant med

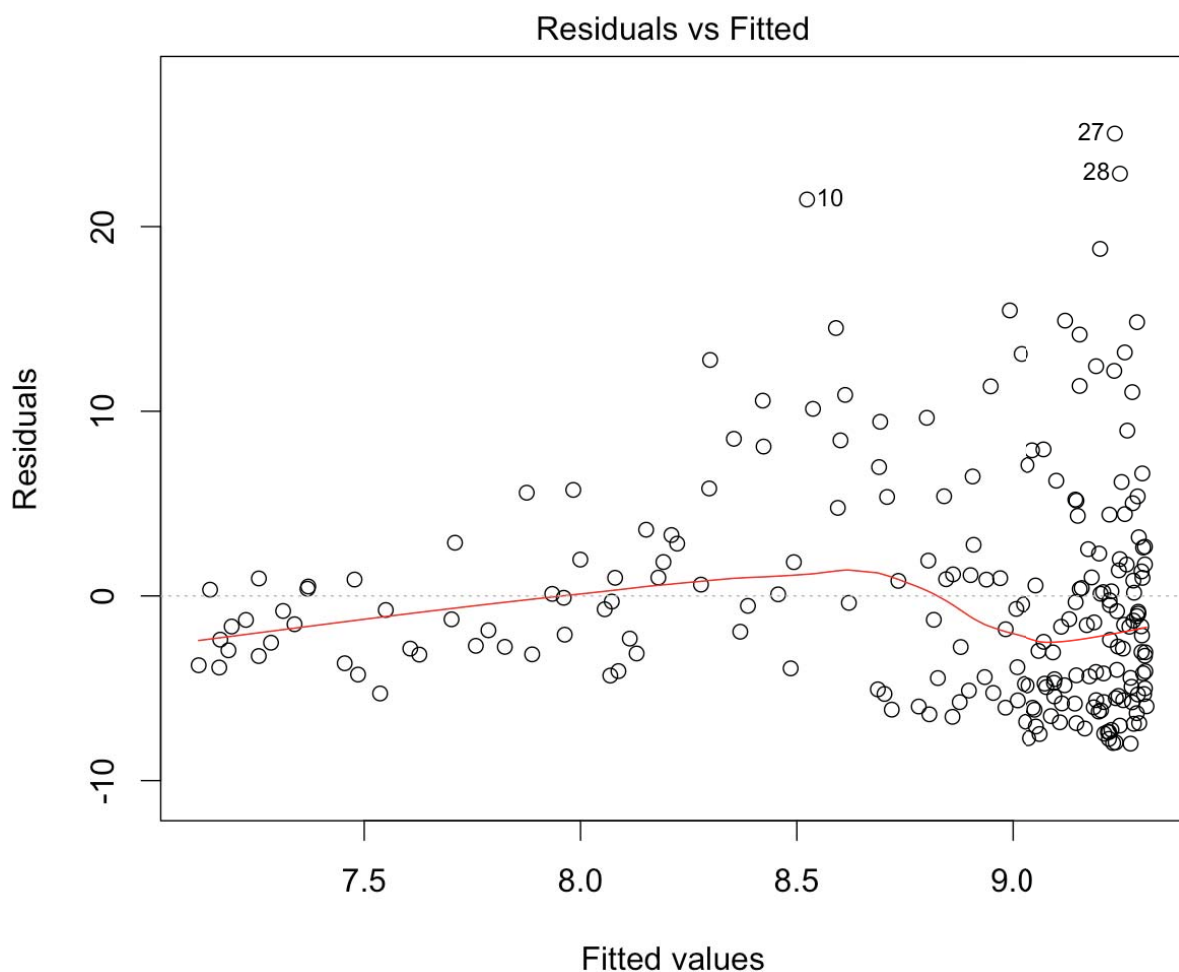
95% sikkerhet med en p-verdi = 0.069, i modell 3 er prøvetrærnes grunnflate signifikant med en p-verdi = 0.035. Modell 1 og 3 bruker begge prøvetrærnes grunnflate i brysthøyde til å beskrive prøvetrærnes konkurransesituasjon. I modell 1 har prøvetrærnes grunnflate i brysthøyde positiv effekt på greingrunnflatetilveksten, i modell 3 har prøvetrærnes grunnflate i brysthøyde negativ effekt på greingrunnflatetilveksten. Modell 1 bruker greingrunnflatesum som variabel til å beskrive konkurransesituasjonen innad i treet, mens modell 3 bruker greinhøyde. At predikert greingrunnflatetilvekst har negativ effekt av trærnes grunnflate i brysthøyde i modell 3 viser at greinhøyde beskriver en del av konkurransesituasjonen for greiner mellom trærne.



Figur 10. Residualplot for predikert (fitted value) greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) basert på greinhøyde.

Figur 10 viser residual plot for en modell med greingrunnflatetilvekst, for alle greiner, som responsvariabel og greinhøyde som forklaringsvariabel. Denne modellen gav en positiv effekt av greinhøyde på $0.63281 \text{ mm}^2/\text{år}$ og en R^2 på 0.33. I figur 10 er det ikke noe tydelig mønster i residualplotet, dette viser en lineær sammenheng mellom

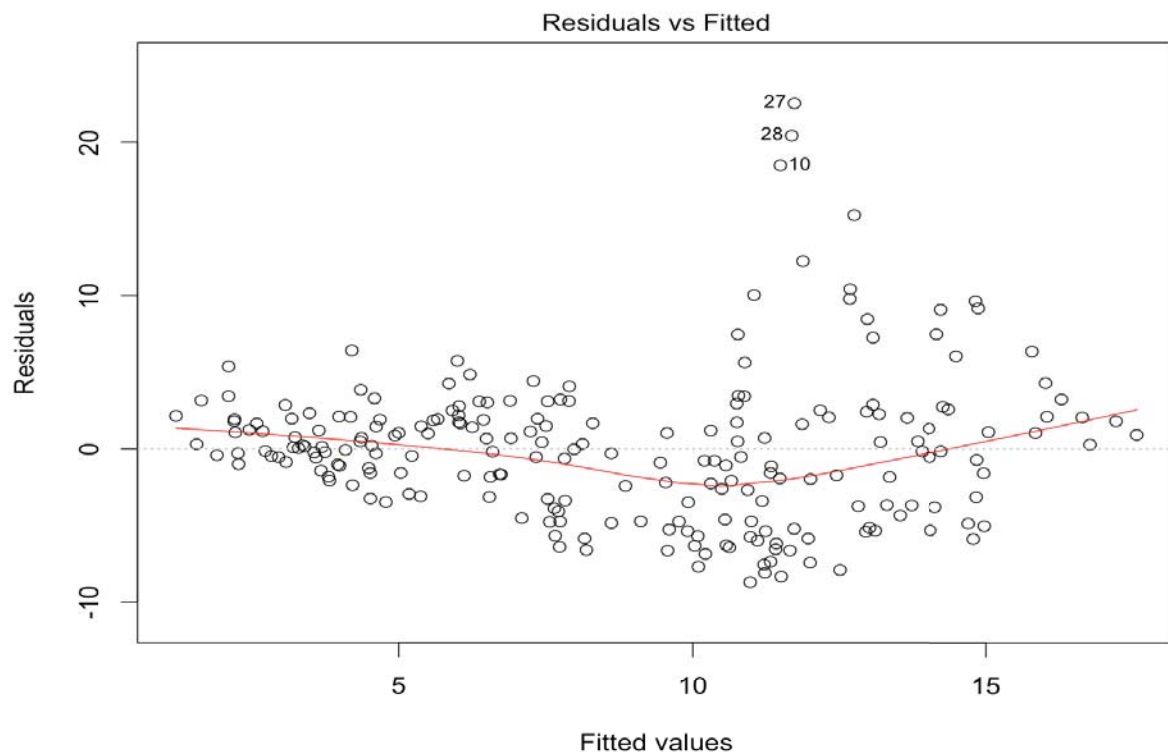
greinhøyde og greingrunnflatetilvekst og at greinhøyde forklarer en del av forskjellen i greingrunnflatetilveksten mellom trærne. Figur 11 viser residual plot for en modell med greingrunnflatetilvekst som responsvariabel og greingrunnflatesum som forklaringsvariabel. Denne modellen gav en negativ effekt av greingrunnflatesum på $-0.00372 \text{ mm}^2/\text{år}$ og en R^2 på 0.005. Figur 11 viser at greingrunnflatesum alene ikke forklarer noe av forskjellen mellom trærne, fordi greingrunnflatesum er helt forskjellig mellom trærne (se figur 7). Det er dette som gir et mønster med klar overvekt av predikerte verdier til høyre i figur 10.



Figur 11. Residualplot for predikert(fitted value) greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) basert på greingrunnflatesum.

Forskjellene i R^2_{adj} og RMSE mellom modellene er små, men modell 3 har høyest i R^2_{adj} og lavest RMSE (tabell 1, 2 og 3). Alle tre modellene forklarer ca. 41.5-42% av variasjonen i greingrunnflatetilvekst i greinene. RMSE sier noe om hvor stor spredningen til restfeilen for greingrunnflatetilveksten er i modellene. Gjennomsnittlig

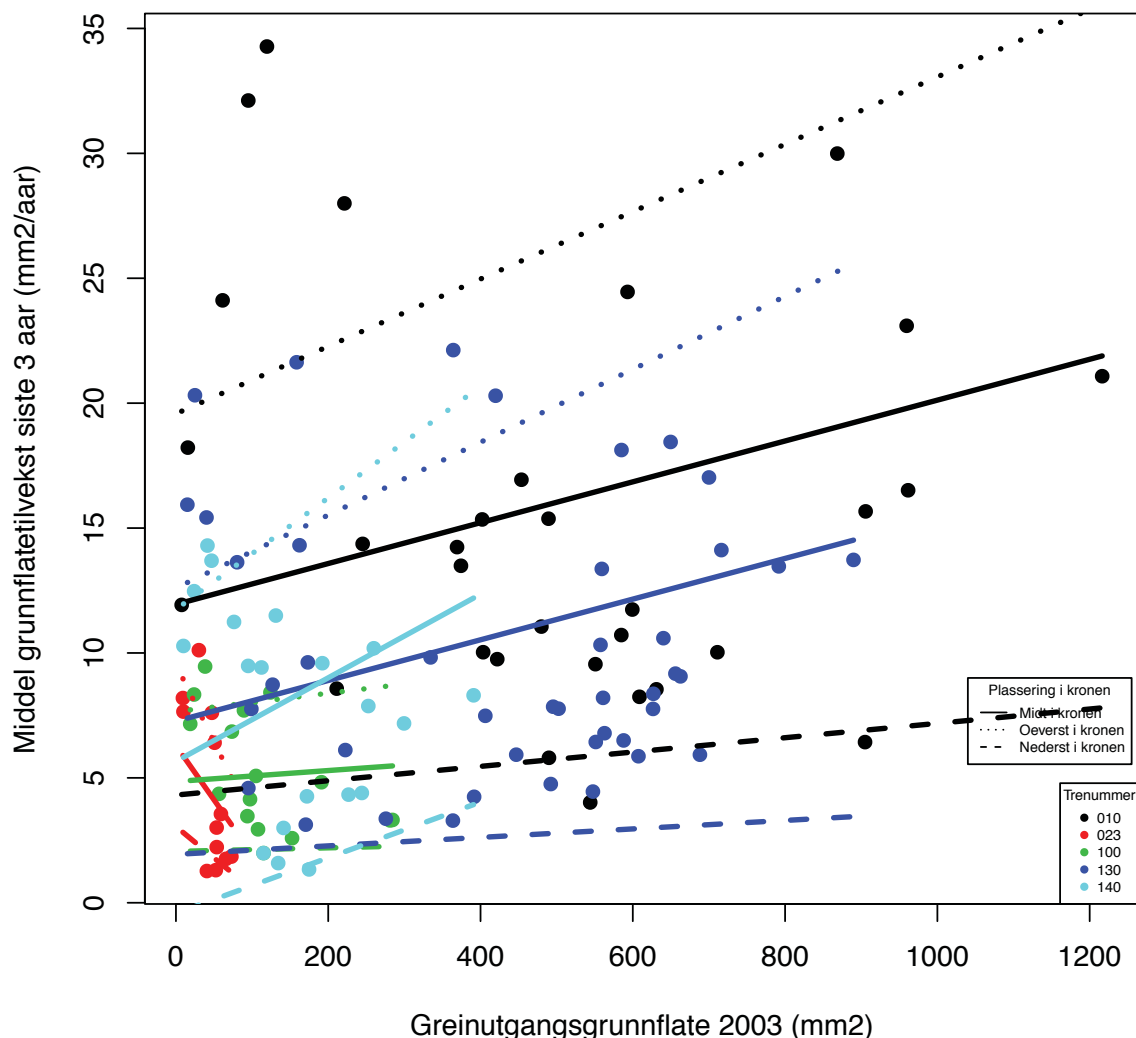
årlig greingrunnflatetilvekst for alle 223 greiner de siste 3 årene er $8.79 \text{ mm}^2/\text{år}$. RMSE verdier fra 4.76 – 4.74 er derfor høyt. For å se hvilken modell som er mest egnet for å predikere greingrunnflatetilveksten ser man på hvilken modell som har lavest RMSE. Av disse tre modellene har modell 3 lavest RMSE og er den modellen som er mest egnet for å predikere greingrunnflatetilveksten. Figur 10 og 11 viser også at greinhøyde har en lineær sammenheng med greingrunnflatetilveksten, i motsetning til greingrunnflatesum. Modell 3 har derfor blitt undersøkt nærmere.



Figur 12. Residualplot for modell 3. Med restfeil (residuals) mot predikerte verdier (fitted values) for gjennomsnittlig greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$).

Figur 12 viser residualplot for modell 3. Den viser en tendens til at modell 3 overpredikerer greingrunnflatetilveksten til greiner med predikert verdi omkring $10 \text{ mm}^2/\text{år}$. Det er også en tendens til større spredningen i restfeilen for de greinene med predikert greingrunnflatetilvekst større enn $10 \text{ mm}^2/\text{år}$. De største restfeilene har positiv verdi sammenlignet med predikert verdi. Det betyr at de greinene med høyest greingrunnflatetilvekst blir underpredikert i modellen.

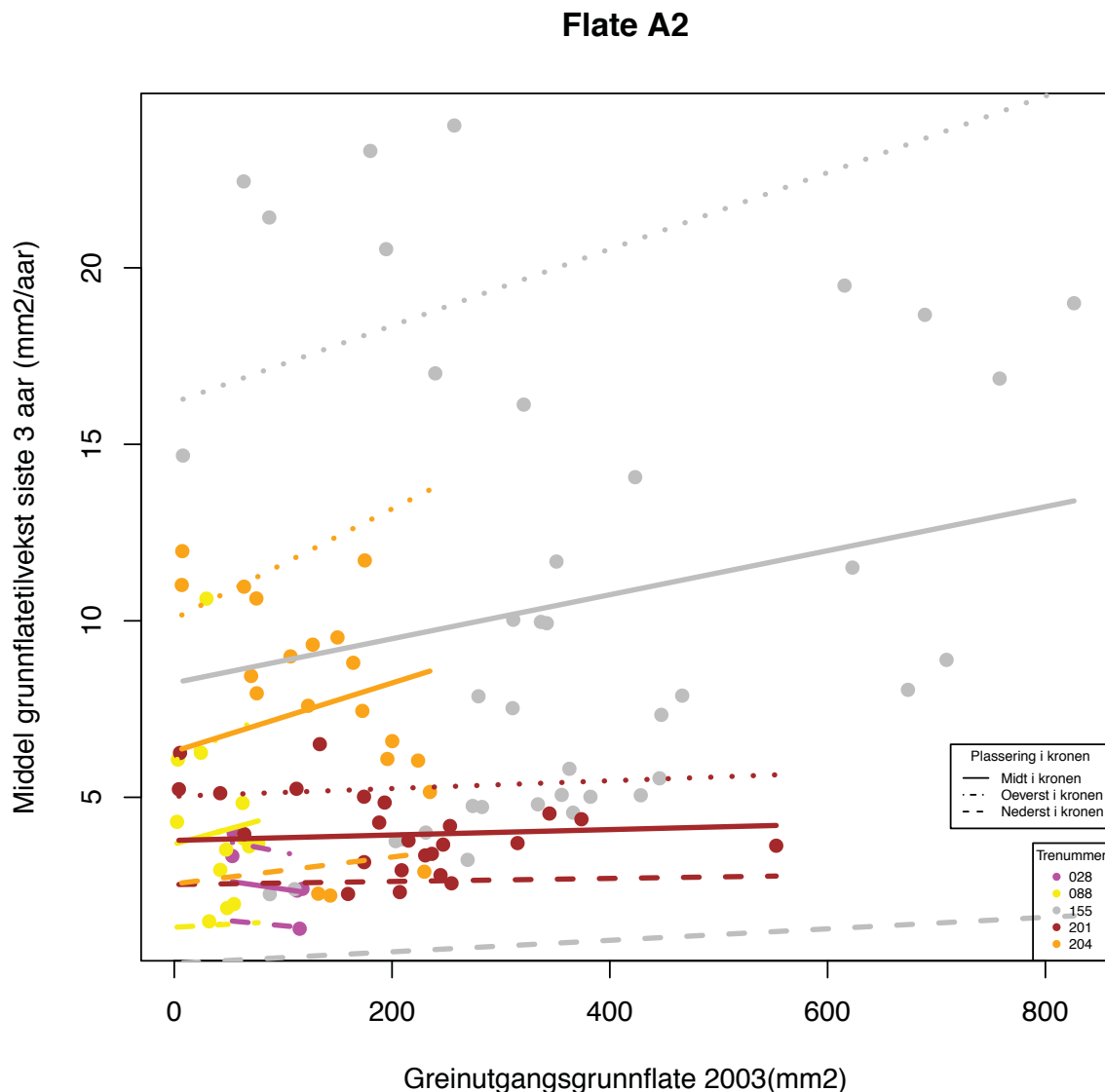
Flate A1



Figur 13. Årlig middel greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) siste 3 årene per grein mot greinas utgangsgrunnflate (mm^2) i 2003 for prøveflate A1. Ulik farge på symboler og linjer skiller mellom prøvetrærne. Prediksjonslinjene indikerer årlig middel greingrunnflatetilvekst ved forskjellig utgangsgreingrunnflate. Prediksjonslinjene skiller mellom om greina sitter øverst, nederst eller midt i hvert enkelt prøvetre sin krone.

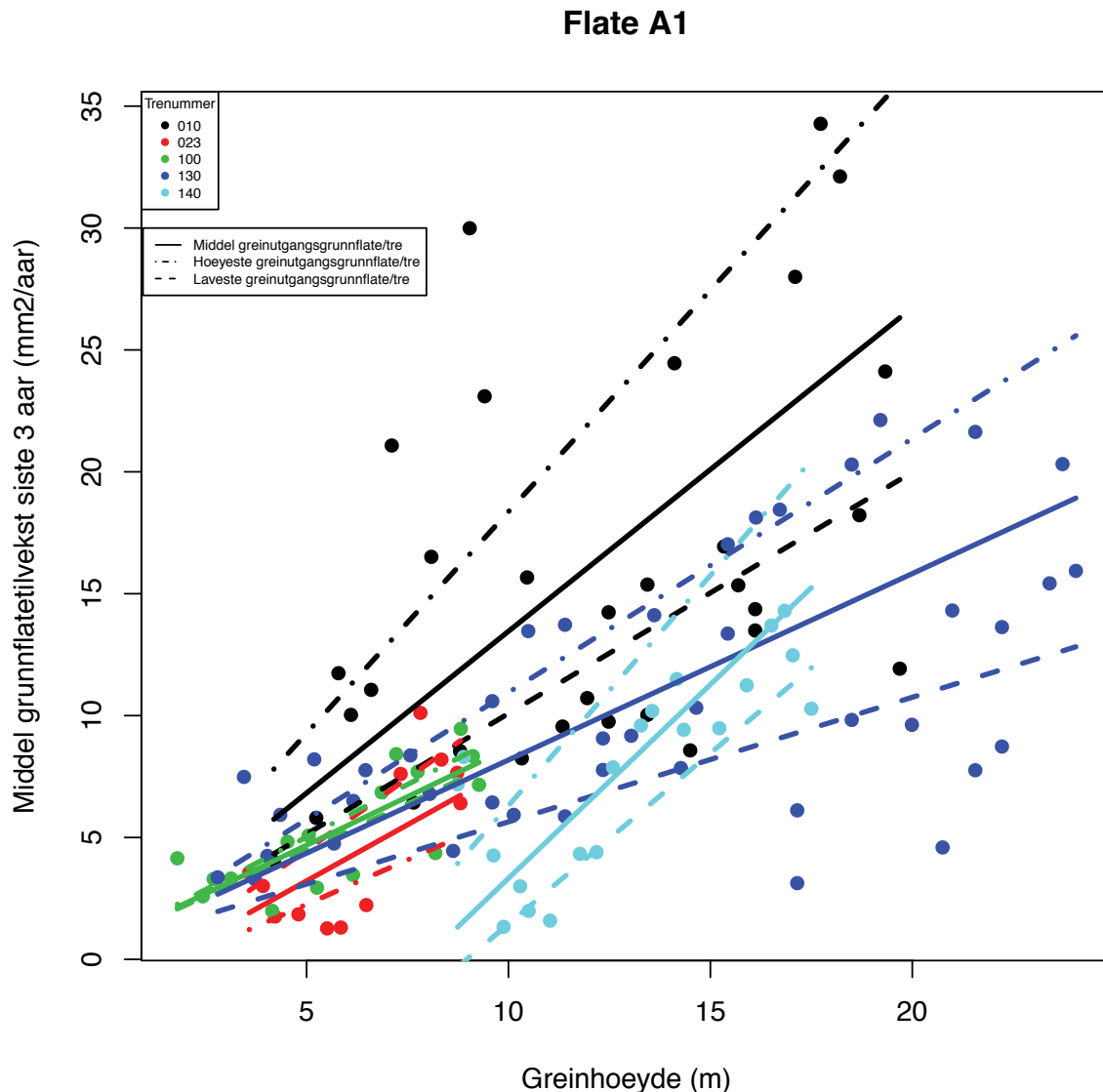
For modell 3 ble det laget to ulike modellprediksjoner per prøveflate (figur 13 og 14, og figur 15 og 16). Figur 13 og 14 viser greingrunnflatetilvekst mot utgangsgreingrunnflate for hver enkelt grein. Modellprediksjonen her viser utviklingen i greingrunnflatetilvekst ved økende greinutgangsgrunnflate med tre forskjellige greinhøyder for hvert prøvetre. De tre forskjellige greinhøydene er: øverste registrerte greinhøyde per prøvetre, nederste registrerte greinhøyde per prøvetre og gjennomsnittet av øverste og nederste greinhøyde per prøvetre. Figur 13 og 14 viser at for sju av ti prøvetrær var det tendenser til økende greingrunnflatetilvekst med økende greinutgangsgrunnflate ved lik

greinhøyde. For disse sju prøvetrærne ser man også at greingrunnflatetilveksten øker mer med økende greinutgangsgrunnflate ved høyere greinhøyde. For alle 10 prøvetrærne ser man økende greingrunnflatetilvekst med økende greinhøyde. De største trærne har de høyeste greingrunnflatetilvekstene og størst spredning i greingrunnflatetilveksten.



Figur 14. Årlig middel greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) siste 3 årene per grein mot greinas utgangsgrunnflate i 2003 (mm^2) for prøveflate A2. Ulik farge på symboler og linjer skiller mellom prøvetrærne. Prediksjonslinjene indikerer årlig middel greingrunnflatetilvekst ved forskjellig utgangsgreingrunnflate. Prediksjonslinjene skiller mellom om greina sitter øverst, nederst eller midt i hvert enkelt prøvetre sin krone.

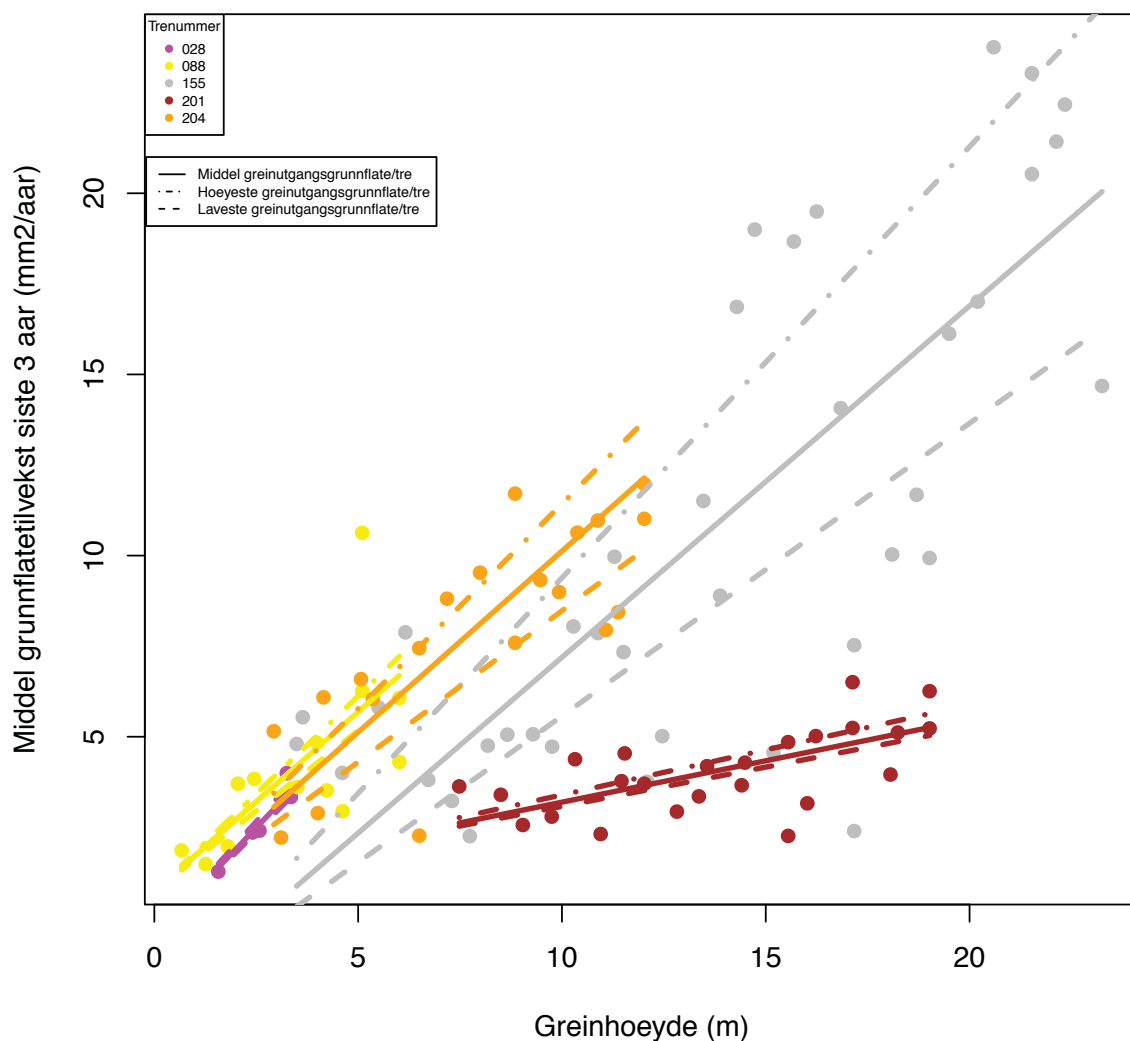
For to av prøvetrærne, A1 023 og A2 028, viser modellen redusert greingrunnflatetilvekst ved økende greinutgangsgrunnflate (figur 13 og 14). Dette er de to prøvetrærne med minst diameter i brysthøyde på henholdsvis 8 og 6 cm. For tre A2 201 viser modellen bare en svak stigende effekt av greinutgangsgrunnflate på greingrunnflatetilveksten.



Figur 15. Årlig middel greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) siste 3 årene per grein mot greinhøyde i treet for prøveflate A1. Ulik farge på symboler og linjer skiller mellom prøvetrærne. Prediksjonslinjene indikerer greingrunnflatetilvekst ved forskjellig greinhøyde. Prediksjonslinjene skiller mellom ulike greinutgangsgrunnflater for hvert prøvetre: gjennomsnittlig greinutgangsgrunnflate, største registrerte greinutgangsgrunnflate og minste registrerte greinutgangsgrunnflate per prøvetre.

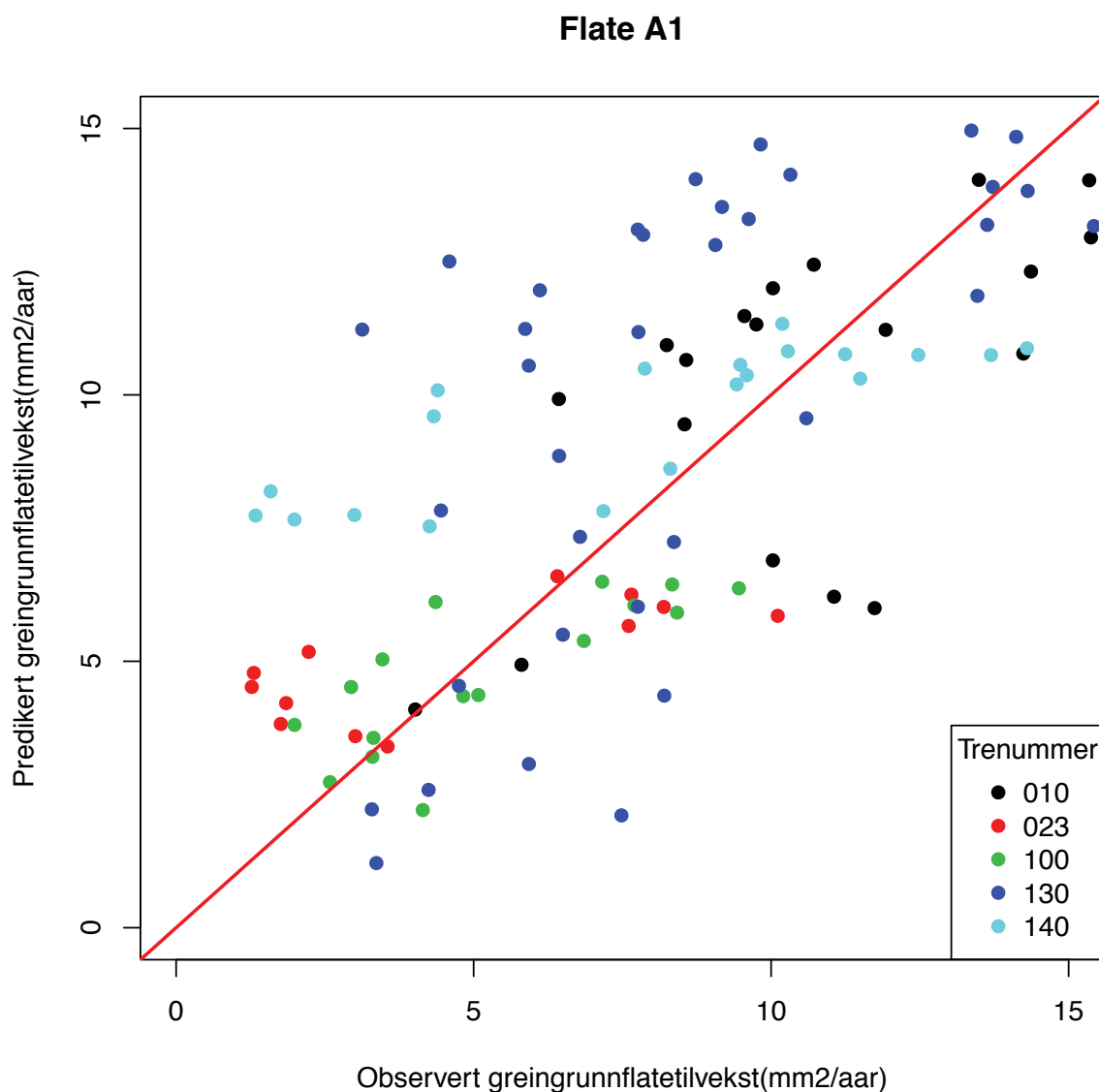
Figur 15 og 16 viser greingrunnflatetilvekst mot greinhøyde for hver enkelt grein. Modellprediksjonen her viser utviklingen i greingrunnflatetilveksten ved økende greinhøyde med tre forskjellige greinutgangsgreingrunnflater for hvert prøvetre. De tre forskjellige greinutgangsgrunnflatene er: Største registrerte greinutgangsgrunnflate per prøvetre, laveste registrerte greinutgangsgrunnflate per prøvetre og gjennomsnittet av greinutgangsgrunnflatene til alle greiner per prøvetre. Ni av ti prøvetrær viser sterk sammenheng med økende greingrunnflatetilvekst ved økende greinhøyde. De to minste prøvetrærne, A1 023 og A2 028, skiller seg ut på samme måte som i figur 13 og 14, ved at laveste greinutgangsgrunnflate gir høyest predikert greingrunnflatetilvekst, men de har tilsvarende sammenhengen mellom økende greingrunnflatetilvekst ved økende greinhøyde.

Flate A2



Figur 16. Årlig middel greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) siste 3 årene per grein mot greinhøyde i treet langs stammen for prøveflate A2. Ulik farge på symboler og linjer skiller mellom prøvetrærne. Prediksjonslinjene indikerer greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$) ved forskjellig greinhøyde. Prediksjonslinjene skiller mellom ulike greinutgangsgrunnflater for hvert prøvetre: gjennomsnittlig greinutgangsgrunnflate, største registrerte greinutgangsgrunnflate og minste registrerte greinutgangsgrunnflate per prøvetre.

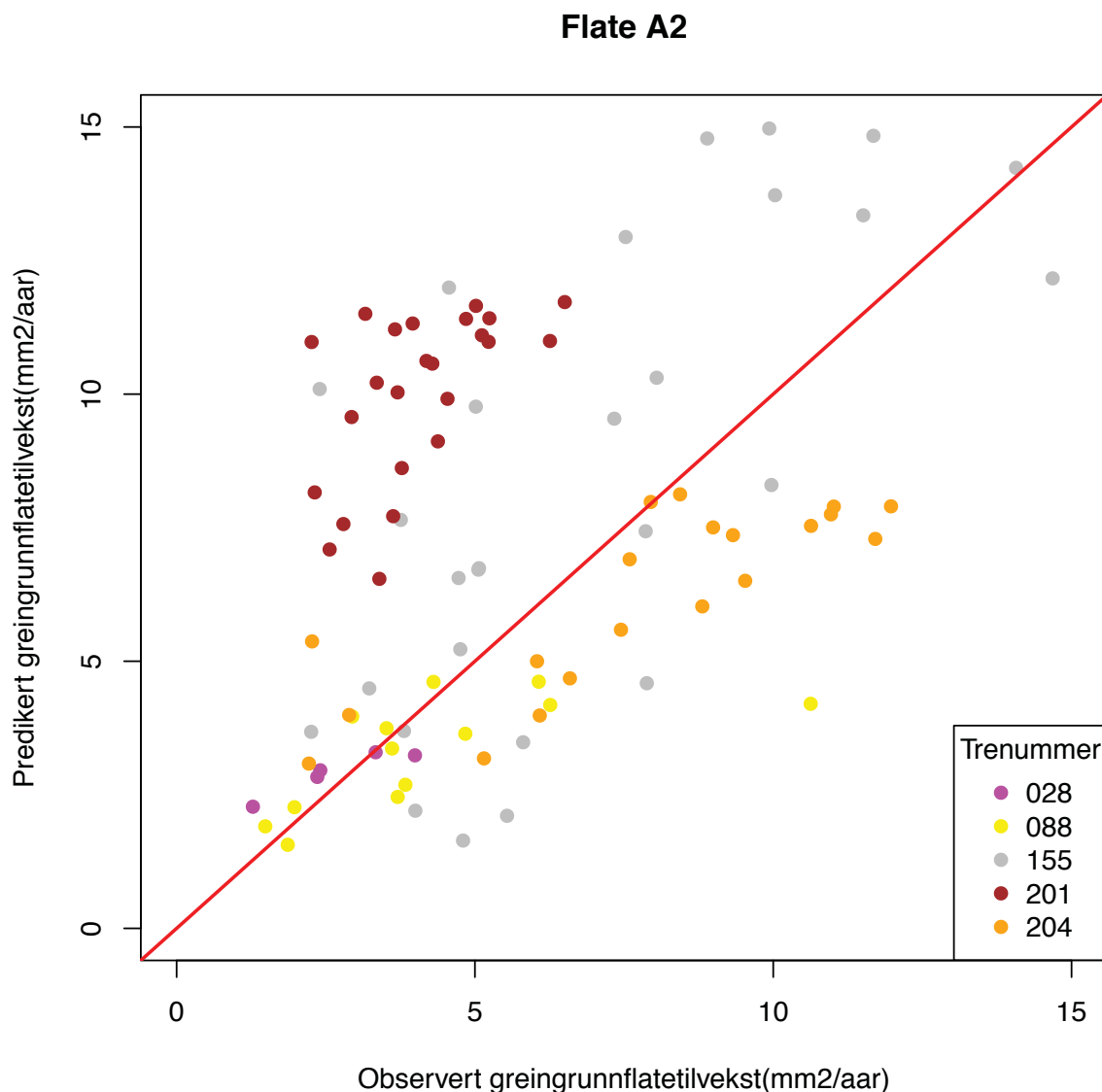
I figur 13, 14, 15 og 16 kan man tydelig se at for de fleste prøvetrærne er effekten av greinhøyde større enn effekten av greinutgangsgrunnflate på greingrunnflatetilveksten. Dette indikerer at greinhøyde er en viktigere faktor for greingrunnflatetilveksten i greiner enn greinutgangsgrunnflaten til greinene. Årsaken til at nederste og øverste grein, og største og minste grein ble brukt i modellprediksjonene i figur 13, 14, 15 og 16 var å tydeliggjøre interaksjonseffekten av greinutgangsgrunnflate og greinhøyde ved å bruke helt forskjellige verdier. Parameterestimer i modell 3 er 0.57 for greinhøyde og 0.0008 for interaksjonsvariabelen, greinutgangsgrunnflate multiplisert med greinhøyde, (se tabell 3). I dataene varierer greinhøyde mellom 0,7 og 24 meter, mens greinutgangsgrunnflate varierer mellom 2,5 og 1216 mm^2 . Generelt er effekten av greinhøyde større enn effekten av greinutgangsgrunnflate på greingrunnflatetilveksten. Kombinasjonseffekten i interaksjonsvariabelen av greinutgangsgrunnflate og greinhøyde på greingrunnflatetilveksten, vil for noen greiner være større enn greinhøyde alene ved høye greinutgangsgrunnflater. Interaksjonsvariabelen gjør også at effekten av greinhøyde på greingrunnflatetilvekst er avhengig av greinas utgangsgrunnflate. Figur 13, 14, 15 og 16 viser tydelig effekten av interaksjonsvariabelen mellom greinutgangsgrunnflate og greinhøyde i modellen. For de fleste trær er det økende forskjell ved økende greinhøyde eller større greinutgangsgrunnflate. I figur 13 og 14 kan man se at like store greiner har stor forskjell i greingrunnflatetilvekst. I figur 15 og 16 ser man at det er mindre forskjell, men fortsatt forskjell i greingrunnflatetilvekst hos greiner ved omtrent lik greinhøyde.



Figur 17. Predikert greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$), basert parameterestimer fra modell 3, mot observert greingrunnflatetilvekst for alle greiner i hvert enkel prøvetre på prøveflate A1. Rød linje indikerer predikert greingrunnflatetilvekst = observert greingrunnflatetilvekst.

I figur 14 og 16 viser tendenser til at prøvetre A2 201 skiller seg ut fra de andre prøvetrærne. A2 201 har svakere sammenheng enn de andre prøvetrærne mellom greingrunnflatetilvekst og greinhøyde og greingrunnflatetilvekst og greinutgangsgrunnflate. A2 201 har sterkere sammenheng mellom greingrunnflatetilvekst og greinhøyde enn greingrunnflatetilvekst og greinutgangsgrunnflate. Figur 15 viser også at prøvetre A1 140 har sterkere sammenheng mellom greingrunnflatetilvekst og greinhøyde enn de andre prøvetrærne. A1 140 og A2 201 er kodominerende trær med lavere med høyde og lengre avstand opp

til nederste levende grein en de virkelig dominerende trærne. Figur 17 og 18 viser sammenhengen mellom predikert greingrunnflatetilvekst, basert på parameterestimer fra modell 3, og greingrunnflatetilveksten som har blitt observert ved målingen av greinprøvene. Figur 17 viser at for prøvetre A1 140 har den predikerte greingrunnflatetilvekst liten spredning, sammenlignet med observert greingrunnflatetilveksten. Det er også noen tendenser for dette hos noen av de andre prøvetrærne. Figur 18 viser at alle greiner i prøvetre A2 201 blir overpredikert av modell 3. Dette viser at modell 3 ikke beskriver disse to trærne på en god måte.



Figur 18. Predikert greingrunnflatetilvekst ($\text{mm}^2/\text{år}$), basert parameterestimer fra modell 3, mot observert greingrunnflatetilvekst for alle greiner i hvert enkel prøvetre på prøveflate A2. Rød linje indikerer predikert greingrunnflatetilvekst = observert greingrunnflatetilvekst.

4 Diskusjon

4.1 Material og metode

Modellene i denne studien er utviklet med data fra ti prøvetrær fra to prøveflater innenfor samme bestand. Modellene kan derfor ikke generaliseres til bruk i andre områder. Til tross for et begrenset datamateriale ble det utviklet noen modeller som beskriver noen viktige sammenhenger for greingrunnflatetilvekst. Årsaken til at årringbredde kun ble målt på 10 av de 30 prøvetrærne tilgjengelig er fordi måling av årringbredde i greiner er veldig tidkrevende.

I denne studien ble greingrunnflatetilveksten til greinene brukt fremfor diametertilveksten. Andre studier som har utviklet greinmodeller har i all hovedsak brukt diameter (blant annet (Vestol and Hoibo 2001, Hein et al. 2007)) og eventuelt også diametertilvekst (Makela and Makinen 2003). Hovedårsakene til at greingrunnflatetilvekst ble brukt i denne studien var først og fremst at sammenhengen mellom greingrunnflatetilveksten og greinhøyde og greingrunnflatesum, som var variablene som ble brukt til å beskrive konkurransesituasjonene for greinene innad i trærne, var lineær som gir enklere parameterestimerer å interpretare i forhold til de statistiske analysene. Ved å bruke diametertilvekst måtte variablene blitt transformert, som ville komplisert tolkningen av parameterne i modellene. Greingrunnflatetilveksten beskriver også bedre biomassetilveksten i greinene. Greiner med en diameter på 1 og 3 cm vil ha helt forskjellig greingrunnflatetilvekst selv om diametertilveksten er lik. Ettersom greinutgangsgrunnflate er inkludert i modellen er det mulig å estimere diametertilveksten ut ifra modellen ved bruk av enkle matematiske formler for sirkler.

Modellene i denne studien er basert på data fra 223 greiner fra de ti prøvetrærne. Antall målte greiner per prøvetre varierer fra 5 til 43. De dominerende trærne påvirker derfor modellen i stor grad sammenlignet med de mindre trærne. Det kan være at man kan lage bedre modeller, til å beskrive greingrunnflatetilveksten, ved å inkludere at trær med ulikt antall greiner påvirker modellen like mye. For at dette skal være aktuelt vil man antagelig trenge data fra mer enn ti trær for å unngå feil, og dette ble ikke gjort i denne studien.

4.2 Modellene

Modell 1, 2 og 3 forklarer bare 42% av variasjonene i greingrunnflatetilvekst og hadde RMSE på omkring $4.8 \text{ mm}^2/\text{år}$. Gjennomsnittlig greingrunnflatetilvekst for samtlige greiner var $8.8 \text{ mm}^2/\text{år}$ de siste tre årene. RMSE-verdiene, som beskriver restfeilen til greingrunnflatetilvekst i modellene, er høye og modellene beskriver ikke variasjonen i greingrunnflatetilveksten på en god nok måte. Dataene fra konkurransen innad i prøvetrærne er nøyaktig målt, ettersom disse dataene ble registrert etter at trærne var felt. Dette kan tyde på at det er konkurransen mellom trærne modellen ikke beskriver på en god nok måte. Tilveksten kan variere mye fra år til år, men i denne studien er alle greinene fra samme bestand og har vært utsatt for samme vær og klima de siste 3 årene. Variasjon i vær og klima forklarer derfor ikke den store variasjonen i greingrunnflatetilveksten mellom greinene som ble funnet i denne studien. Greingrunnflatetilveksten i denne studien er også et årlig gjennomsnitt for de siste tre årene. For å predikere greingrunnflatetilvekst var modell 3 mest egnet av de tre modellene med lavest RMSE og høyest R^2_{adj} . Greinhøyde, som ble brukt i modell 3, hadde i tillegg alene en klar lineær sammenheng med greingrunnflatetilveksten (figur 10). Dette viser at greinhøyde også beskriver noe av konkurransen for greiner mellom trærne.

I denne studien ble det funnet noen viktige sammenhenger for greingrunnflatetilvekst. Greingrunnflatetilveksten økte med økende greinhøyde for alle ti prøvetrær. For åtte av prøvetrærne var det også økende greingrunnflatetilvekst ved økende greinutgangsgrunnflate, men denne sammenhengen var ikke like tydelig som mellom greinhøyde og greingrunnflatetilvekst. Parameterestimatene i tabell 3 viser at greinhøyde har større effekt på predikert greingrunnflatetilvekst enn greinutgangsgrunnflate, men at effekten av interaksjonsvariabelen med greinhøyde og greinutgangsgrunnflate ved høye greinutgangsgrunnflater kan ha større effekt på greingrunnflatetilveksten enn greinhøyde alene. Interaksjonsvariabelen viser at effekten av greinhøyde på greingrunnflatetilveksten er avhengig av greinutgangsgrunnflate og at effekten av greinutgangsgrunnflate på greingrunnflatetilveksten er avhengig av greinhøyde. Parameterestimatet for interaksjonsvariabelen er positivt og betyr at effekten av greinhøyde er større ved grøvre greinutgangsgrunnflate. Effekten av

greinutgangsgrunnflate blir dermed også større ved økende greinhøyde.

Interaksjonseffekten vises tydelig i figur 13, 14, 15 og 16. Generelt vil modellen predikere større greingrunnflatetilvekst for greiner høyere opp i kronen, sammenlignet med en greiner lengre ned i kronen, med mindre greiner lengre ned i kronen har betydelig større greinutgangsgrunnflate. Dette er også avhengig av hvor stor forskjellen i greinhøyde er mellom greinene.

Det var for noen greiner en stor forskjell i greingrunnflatetilvekst for greiner ved samme greinhøyde, og greiner med tilnærmet lik greinutgangsgrunnflate. Noe av denne forskjellen skyldes at greiner ved samme greinhøyde / greinutgangsgrunnflate kan ha helt forskjellig greinutgangsgrunnflate / greinhøyde. Men mye av denne forskjellen i skyldes også at det var stor variasjon i greingrunnflatetilvekst som ikke forklares i modellen. Dette gjelder også greiner med tilnærmet lik greinhøyde og greinutgangsgrunnflate som hadde stor forskjell i greingrunnflatetilvekst som modellen ikke forklarer. Mäkelä og Mäkinen (2003) fant en generell trend for underestimering av greindiameter øverst i kronen. Dette er ikke direkte sammenlignbart med grunnflatetilveksten de siste 3 årene, men i denne studien var greingrunnflatetilveksten størst høyere oppe i kronene med tendenser til større variasjonen i greingrunnflatetilvekst høyere opp i kronen (se figur 10). Det er logisk at variasjonen i greingrunnflatetilvekst øker når greingrunnflatetilveksten øker. Det kan være en sammenheng mellom at greingrunnflatetilvekst og greindiameter øverst i kronen er spesielt vanskelig å predikere, ved at greinene vokser på en mindre forutsigbar måte øverst i kronen. De største avvikene i restfeil i modellen forekom generelt hos greiner med veldig høy greingrunnflatetilvekst, som ble underpredikert i modellen (se figur 12).

Hein et. al (2007), Vestøl og Høibø (2001) og Mäkelä og Mäkinen (2003) er blant flere studier som har funnet at de grøveste greinene ikke ligger helt nederst i kronen. Denne sammenhengen ble også funnet i denne studien for de dominerende trærne (se figur 8). De fant også at det var en sammenheng mellom greindiameter og greina sin plassering i kronen. I Hein et. al (2007) fant de også at variasjonen i greindiameter mellom trær med ulik diameter i brysthøyde var større lengre ned i kronen, og at greiner øverst i kronen er mindre påvirket av konkurranse mellom trær. Mäkelä og Mäkinen (2003) fant at greindiameter avtok fort øverst i kronen før den stabiliserte seg med større variasjon

lengre ned i kronen og til slutt avtok nederst i kronen. I figur 8 kan man ikke se noen klar tendens for dette i denne studien.

Figur 17 og 18 viser at modell 3 ikke beskriver prøvetre A1 140 og A2 201 på en god måte. Det var også tendenser til dette for noen av de andre prøvetrærne, men disse prøvetrærne har færre greiner representert i datasettet og tendensen var mindre tydelig. A1 140 og A2 201 er kodominerende trær med lavere høyde og kortere krone enn de virkelig dominerende trærne, men har relativt mange greiner representert i datasettet, henholdsvis 20 og 24 greiner. Dette er også de to prøvetrærne med lengst avstand til nederste levende grein og de mangler den typiske formen som de dominerende trærne har ved at de grøvste greinene ikke er nederst i kronen (se figur 8). Dette kan bety at modellen ikke gir en god beskrivelse av greingrunnflatetilveksten uavhengig av hvilken type tre modellen predikerer (undertrykt, kodominerende eller dominerende). Det er data fra for få prøvetrær i denne studien til å konkludere med at modellen ikke beskriver kodominerende trær på en god måte, eller om dette er tilfeldig. I figur 3 og 4 kan det se ut til at A1 140 og A2 201 er utsatt for spesielt høy konkurranse fra andre trær. Dette kan være noe av årsaken til at modellen beskriver disse trærne dårlig. I tillegg ble funnet at de to minste prøvetrærne A1 023 og A2 028 egentlig hadde negativ effekt av greinutgangsgrunnflate, men disse to prøvetrærne hadde relativt få greiner representert i dataene, henholdsvis 12 og 5 greiner, som gjør det vanskelig å konkludere med en tydelig sammenheng.

4.3 Videreutvikling

Videreutvikling av modellene fra denne studien bør fokusere på å identifisere variabler eller andre statistiske metoder som på en vesentlig bedre måte kan beskrive variasjonen i greingrunnflatetilvekst. Dette gjelder spesielt variasjonen i greingrunnflatetilvekst for greiner som er tilsynelatende like i forhold til både greinhøyde og greinutgangsgrunnflate.

Dataene i denne studien er fra bare ti trær på to prøveflater, noe som er relativt lite. For å få et større datagrunnlag for en eventuell videreutvikling, er data fra ytterligere fire

prøveflater samlet inn, men foreløpig er årringbredder for greinprøvene på disse prøveflatene ikke målt. Måling av årringbredder er en tidkrevende prosess og koster derfor penger. Uavhengig av hvor godt modellene beskriver greingrunnflatetilveksten er det uansett nødvendig at data fra et større geografisk område samles inn før man kan utvikle greintilvekstmodeller for større regioner i Norge. Innsamling av data fra et større representativ område vil være kostbart. Det må være både interesse og økonomiske midler tilgjengelig for at det skal være realistisk å samle inn nok data for en generell greintilvekstmodell for gran i Norge.

5 Referanseliste

Fahlvik, N., et al. (2005). "Influence of precommercial thinning grade on branch diameter and crown ratio in *Pinus sylvestris* in southern Sweden." Scandinavian Journal of Forest Research **20**(3): 243-251.

Gizachew, B. and A. Brunner (2011). "Density-growth relationships in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine stands in Norway." Scandinavian Journal of Forest Research **26**(6): 543-554.

Hein, S., et al. (2007). "Modelling branch characteristics of Norway spruce from wide spacings in Germany." Forest Ecology and Management **242**(2-3): 155-164.

Kantola, A., et al. (2007). "Stem form and branchiness of Norway spruce as a sawn timber - Predicted by a process based model." Forest Ecology and Management **241**(1-3): 209-222.

Lundqvist, L., et al. (2014). Skogsskötselserien – Slutavverkning, <http://www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien>: 60.

Maguire, D. A., et al. (1999). "Predicting branch diameters on second-growth Douglas-fir from tree-level descriptors." Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere **29**(12): 1829-1840.

Makela, A. and H. Makinen (2003). "Generating 3D sawlogs with a process-based growth model." Forest Ecology and Management **184**(1-3): 337-354.

Makinen, H. and A. Isomaki (2004). "Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees." Forest Ecology and Management **201**(2-3): 295-309.

Pretzsch, H., et al. (2002). "The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation." Forest Ecology and Management **162**(1): 3-21.

Purves, D. W., et al. (2007). "Crown Plasticity and Competition for Canopy Space: A New Spatially Implicit Model Parameterized for 250 North American Tree Species." Plos One **2**(9).

Skara, A. B. and T. A. Steinset (2017). "Skogavvirkning for salg 2016." Retrieved 20.04.2017, from <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav>.

Skovsgaard, J. P. and J. K. Vanclay (2008). "Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands." Forestry **81**(1): 13-31.

Vestol, G. I. and O. A. Hoibo (2001). "Prediction of knot diameter in *Picea abies* (L.) Karst." Holz Als Roh-Und Werkstoff **59**(1-2): 129-136.

Virkesmåling, N. (2015). "B1 Målereglement sagtømmer." Retrieved 19.04.2017, from http://www.m3n.no/B1_Maalereglement_sagtømmer.pdf.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway