

Test av konkurranseindekser i ung blandingskog

A test of competition indices in young mixedwoods

Trygve Westrum Solem

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITTENSKAP  
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING  
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2010





## Forord

Dette er en avsluttende masteroppgave innenfor studieretningen skogfag ved Universitetet for miljø- og biovitenskap på Ås.

Jeg vil rette en stor takk til professor Andreas Brunner ved institutt for naturforvaltning for god veiledning og oppfølging gjennom oppgaven. Jeg vil også rette en takk til min far Arne Solem for verdifull hjelp i forbindelse med feltarbeidet.

Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås, Mai 2010

Trygve Westrum Solem

## Sammendrag

Oppgaven hadde som mål å teste ut et utvalg enkle konkurranseindekser i ung blandingsskog. Kunnskap om økologisk konkurranse mellom individuelle trær er et nyttig hjelpemiddel blant annet i forbindelse med planlegging og fremskriving av skog. Det ble utført registreringer i to ungsogsbestand i Ås kommune i det sørøstlige Norge. Begge bestandene besto av et nedre sjikt av gran (*Picea abies*), og et øvre sjikt av hovedsakelig bjørk (*Betula pubescens* og *Betula pendula*). Hvert enkelt tre ble kartlagt, og det ble registrert data om både høyde- og diametertilvekst. Fem tradisjonelle konkurranseindekser ble testet ut, i tillegg til en sjette konkurranseindeks som ble tatt med for å representere underjordisk konkurranse om vann og næringsstoffer. Potensiell tilvekst ble beregnet som en funksjon av utgangshøyde/utgangsdiameter. Forventet tilvekst ble beregnet som potensiell tilvekst begrenset av en eller flere konkurranseindekser. For høydetilvekst ble best resultat oppnådd med diameter/avstand-konkurranseindeks i kombinasjon med underjordisk konkurranseindeks ( $R^2_{Adj} : 0,8948$ ). For diametertilvekst ble best resultat oppnådd med konkurranseindeks basert på vinkelsum av konkurrenttrær, i kombinasjon med underjordisk konkurranseindeks ( $R^2_{Adj} = 0,9060$ ). Overjordisk konkurranse hadde størst betydning i bestand 1, mens underjordisk konkurranse hadde størst betydning i bestand 2.

## Abstract

The aim of this study was to test the predictive value of a selection of simple competition indices in young mixed stands of Norway spruce (*Picea abies*) and birch (*Betula pubescens* and *Betula pendula*). Knowledge of ecological competition between individual trees can act as a helpful tool in forest planning and for predicting future growth. Field measurements were made in two young stands located i Ås municipal in the south-eastern part of Norway. Both stands were made up of a two-storied mixture of Norway spruce under a shelter of mainly birch. Field measurements included tree coordinates, and measurements of height- and radial increment. Five well known competition indices were selected for testing, in addition to a sixth competition index which was intended to represent competition for belowground resources like water and nutrients. Potential increment was described as a function of initial height/diameter. Expected increment was then described as potential increment limited by one or more competition indices. Best results in predicting height increment was achieved with a competition index based on dbh-ratio weighted by distance, combined with the belowground competition index ( $R^2_{Adj}= 0,8948$ ). For radial increment, best results was achieved with a competition index based on the sum of the horizontal angels of the competitors, combined with the belowground competition index ( $R^2_{Adj}=0,9060$ ). Aboveground competition was most pronounced in stand 1, while belowground competition seemed to be of most importance in stand 2.

# Innholdsfortegnelse

<b>1. Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Materiale og metode</b> .....	<b>8</b>
2.1 Studiemråde.....	8
2.2 Datainnsamling.....	9
2.3 Analyser.....	10
2.4 Angående diameterberegning.....	13
<b>3. Resultater</b> .....	<b>14</b>
3.1 Høydetilvekst.....	14
3.2 Diametertilvekst.....	17
<b>4. Diskusjon</b> .....	<b>21</b>
4.1 Metodikk.....	21
4.2 Høydetilvekst.....	22
4.3 Diametertilvekst.....	24
4.4 Vurdering av distanseavhengige og distanseuavhengige konkurranseindekser.....	25
4.5 Vurdering av overjordisk og underjordisk konkurranse.....	25
4.6 Avsluttende bemerkninger.....	26
<b>5. Referanseliste</b> .....	<b>27</b>
<b>6. Vedlegg</b>	
6.1 Vedlegg 1. Høydetilvekst	
6.2 Vedlegg 2. Diametertilvekst	

# 1. Innledning

I Norge utgjør i dag gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*) de to viktigste kommersielle treslagene. Bruksområdene til disse treslagene er i stor grad sammenfallende, og består hovedsakelig av trelast og massevirke til papirproduksjon. Til tross for at naturlig foryngelse benyttes i begrenset omfang, er flatehogst med påfølgende tilplanting av gran den mest utbredte driftsformen ved produksjon av grantømmer (Hansen 2003). Tradisjonelt sett har målet ved denne driftsformen vært å etablere et mest mulig homogent bestand, både med hensyn til sjiktning og treslags sammensetning. Dette målet har i nyere tid blitt noe moderert, ettersom en viss løvtreinnblanding er påkrevd for å møte kravene for miljøsertifisering (<http://www.levendeskog.no>). Flatehogst utgjør et inngrep i skogøkosystemet som kan sammenliknes med storskalaforstyrrelser som skogbrann. I likhet med på brannflater, vil det også på hogstflater ofte forekomme et naturlig løvoppslag av arter som er tilpasset tidlige suksesjoner (Smith et al. 1997). Bjørk (*Betula* spp.) faller innunder denne kategorien, og opptrer ofte naturlig på hogstflater tilplantet med gran (Johansson 2003).

Ungskogpleie i granforyngelser utføres primært for å bedre vekstvilkårene for framtidstrærne. Dette innebærer at bjørk og annen pionervegetasjon fjernes. Flere studier viser imidlertid at bestandets totale produksjon kan økes ved å kombinere gran og bjørk på en tidlig fase i omløpet (Tham 1994, Frivold og Frank 2002). Dette skyldes trolig hovedsakelig forskjeller i vekstdynamikken hos de to artene. Bjørk er kjennetegnet ved en raskere ungdomsvekst enn gran. Ved å høste bjørka på riktig tidspunkt, kan en dermed øke bestandets totale biomasseproduksjon, og likevel produsere kvalitetsvirke av gran (Tham 1994).

Bjørk og andre pionertreslag som tas ut under ungskogpleie blir i liten grad utnyttet kommersielt, men vil i de fleste tilfeller bli liggende i skogen. Ved å utsette eller eventuelt dele opp ungskogpleien til bjørka når større dimensjoner, vil det være mulig å utnytte denne ekstra biomassen til bioenergi. I tillegg til den miljømessige gevinsten, vil en slik avsetningsmulighet trolig stimulere flere skogeiere til å gjennomføre ungskogpleie på sine eiendommer.

Et avgjørende spørsmål ved denne driftsformen er hvilke blandingsforhold og tetthetsnivåer som gir best utnyttelse av voksestedets potensial, og hvordan kunnskap om dette kan brukes for å framskrive bestandets vekst. Konkurransen i et plantesamfunn oppstår når ressursgrunnlaget i

plantesamfunnet når et nivå der optimal vekst ikke lenger kan opprettholdes for to eller flere planter (Holmes og Reed 1991). Fra tidligere studier vet vi at dette avhenger av faktorer som tetthets- og høydeforhold mellom de ulike individer, voksestedsegenskaper, og treslags sammensetning (Berger et al. 2008). Dette er faktorer som påvirker det konkurransetrykket som utøves trærne imellom. For å predikere bestandets utvikling er det derfor nødvendig å finne fram til et mål som beskriver konkurranseforholdet mellom de to tresjiktene, og mellom de enkelte grantrærne slik at det kan uttrykkes i målbare enheter.

Konkurransindekser er et vanlig element i vekstmodeller, og kommer særlig til anvendbarhet ved vekstmodellering på enkelttre nivå og i flersjiktete bestand (Lorimer 1983). Konkurransindekser på bestandsnivå kan bestå av enkle distanseuavhengige parametere som tretetthet eller grunnflatesum. På enkelttre nivå vil det ofte være nødvendig med distanseavhengige parametere for å uttrykke det enkelte tres konkurransetrykk i forhold til nabo trærne (Mailly et al. 2003). Ulike konkurransindekser kan ha svært ulik oppbygning. Enklere konkurransindekser tar ofte utgangspunkt i lett målbare parametere som brysthøydiameter og høyde. Dette kan enten benyttes direkte til å beskrive konkurransen, eller det kan vektas med avstanden mellom trærne. En fordel med denne typen konkurransindekser er at de baseres på parametere som er lette å samle inn i felt, og at de kan tolkes uten bruk av avansert programvare. Konkurransindekser som er mer krevende med hensyn til data-input kan for eksempel være basert på faktorer som kroneradius (Schütz 1989), bladareal-indeks (Welles og Norman 1991), eller grad av lystilgang i kronesjiktet (Brunner og Nigh 2000).

I forbindelse med studier av blandingsbestand i Norge, er det tidligere benyttet flere former for konkurransindekser. Braathe (1988) benyttet en konkurransindeks basert på avstanden og høydeforskjellen mellom konkurrentene og det treet som beskrives. Gobakken og Næsset (2002) brukte forholdet mellom middelhøyde og antall av de ulike treslagene for å beskrive konkurransetrykket i en vekstmodell på bestandsnivå.

Målet med denne oppgaven er å teste ut et utvalg enkle konkurransindekser i ung tosjiktet blandingskog av gran og bjørk. Ved å teste ut ulike kombinasjoner av konkurransindekser, er målet videre å finne fram til en modell som gir et pålitelig estimat av granas tilvekst under ulike konkurransebelastninger.

## 2. Materiale og metode

### 2.1 Studieområde

Feltarbeidet ble gjennomført i tidsrommet juli – august 2009 i Ås kommune, Akershus fylke.

Det ble samlet inn data fra to bestand. Disse var lokalisert ved Holstad (UTM32 N:6616851 Ø:601960) og Bølstad (UTM32 N:6618627 Ø:599865), og vil heretter bli betegnet som henholdsvis bestand 1 og 2. Bestandene ble valgt ut på bakgrunn av treslagssammensetning og utviklingsstadium. Bestandene var i et tidlig utviklingsstadium, og var av blandingsskog med gran og bjørk som de dominerende treslag. I tillegg til gran og bjørk, var det i begge bestandene også innslag av selje (*Salix caprea*), rogn (*Sorbus aucuparia*), og furu. Begge bestandene var svært ujevne med hensyn til tretetthet, og inneholdt såvel svært tette, som svært glisne partier.

Bestand 1 (Holstad) ble vurdert til å tilhøre vegetasjonstypen storbregneskog (Fremstad 1997), og boniteten ble vurdert til B20. Bestandet var kjennetegnet av et forholdsvis høyt grunnvannsnivå, og bar flere steder tegn til forsumpning. Det foreligger ikke informasjon om behandlingshistorien i bestandet, men ut fra strukturen og treslagssammensetningen kan det slutes at både bjørken og grana er etablert ved naturlig foryngelse. Denne slutningen er basert på at grantrærne ikke vokser i noe tydelig forband, samt at det er betydelig spredning i utviklingsnivå mellom både gran og bjørk. Frømaterialiet granforyngelsen er basert på stammer trolig både fra de omkringliggende bestand, og fra enkeltstående frøproduserende trær innenfor bestandet. Under registreringsarbeidet ble det flere steder påvist stubbeavskjær, hvilket tyder på at det på et tidspunkt har blitt gjennomført en avstandsregulering i bestandet.

Bestand 2 (Bølstad) ble vurdert til være av vegetasjonstypen småbregneskog (Fremstad 1997), og av bonitet B20. Også dette bestandet ble på bakgrunn av tetthet, struktur, og utviklingsnivå vurdert til å være naturlig forynget. Det var ikke mulig å finne stubber eller andre tegn til skogbruksaktivitet i bestandet. Under befaringen ble det imidlertid påvist flere steinrøyser og rester etter gjerder, hvilket gjør det naturlig å anta at bestandet tidligere har vært benyttet som beite- eller jordbruksmark. Foryngelsen har trolig skjedd ved frøspredning fra de omkringliggende bestand.

## 2.2 Datainnsamling

Det ble samlet inn data fra totalt 6 prøveflater, hvorav 4 i bestand 1, og 2 i bestand 2. Deskriptiv informasjon om de to bestandene er vist i tabell 1. Det ville vært ønskelig med et større datamateriale, men dette lot seg ikke gjennomføre på grunn av tidsforbruket. Prøveflatene var sirkulære, med et areal på 250 m<sup>2</sup> (8,92 m radius). Sentrum av prøveflatene ble tydelig merket. Innenfor hver prøveflate ble følgende data registrert:

- kompassretning og avstand til flatesentrum for samtlige trær.
- Høyde på samtlige grantrær.
- Brysthøydiameter (1,3 m) for alle trær der dette var mulig.
- Høyde på et representativt utvalg bjørk (dette ble vurdert skjønnsmessig).

Innenfor en radius på 5,64 m fra flatesentrum (100 m<sup>2</sup>) ble det i tillegg gjort målinger av de siste ti års toppskuddlengder, og samlet inn stammeskiver fra samtlige grantrær høyere enn 1,3 m. Dette innebar i praksis en todeling av prøveflatene. Dette var nødvendig for å unngå feil i modelltilpasningen som følge av kanteffekter.

Utstyret som ble brukt i forbindelse med datainnsamlingen besto av kompass, høyde/avstandsmåler av merket Vertex, 5 m teleskopisk målestokk, klave, og tilvekstbor.

Innenfor hver prøveflate ble det også gjort målinger for å fastslå bonitet etter H40-systemet. Det ble utelukkende brukt bjørk til bonitering, ettersom all gran innenfor bestandene i større eller mindre grad var undertrykt.

De innsamlede stammeskivene ble senere brukt til å anslå årlig diametertilvekst. Dette ble gjort ved å måle bredden på hver enkelt årring ved hjelp av et måleapparat med forstørrelse og telleverk. Årringene ble målt i to retninger med en 90° vinkel i forhold til hverandre.

Tabell 1. Deskriptive verdier for datamaterialet. Standardavvik står oppført i parentes.

Bestand	N prøveflater	n/haa Totalt	n/haa Gran	n/haa Andre	Gjennomsnittlig høyde Gran (cm)	Gjennomsnittlig høyde Bjørk (cm)	Gjennomsnittlig dbh Gran (mm)	Gjennomsnittlig dbh Bjørk (mm)	Bonitet (H40)
1	4	12460	8630	3830	199 (±137)	1074 (±329)	22,23 (±18,28)	76,86 (±35,55)	B20
2	2	14880	10200	4680	225 (±125)	1129 (±366)	19,22 (±14,34)	63,23 (±34,16)	B20

### 2.3 Analyser

Samtlige analyser ble utført ved bruk av databehandlingsprogrammet SAS 9.2 (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA). Trærne som ble brukt til å fremskaffe tilvekstdata oppviste stor spredning i både høyde og diameter. Dette innebar at en stor del av trærne var for små til at det var mulig å samle informasjon om de siste ti års høydertilvekst. Den samme problemstillingen gjorde seg også gjeldende for diametertilveksten. For å få et mest mulig komplett datamateriale var det nødvendig å begrense datasettet til å omhandle fire års høydertilvekst, og tre års diametertilvekst. Siden datainnsamlingen foregikk i vekstsesongen, måtte siste års toppskudd og siste års årring utelates fra datasettet.

En utfordring med datamaterialet i denne oppgaven er at en stor andel av trærne var kortere enn 1,3 m. Som en konsekvens av dette, var det ikke mulig å registrere brysthøydiameter på disse trærne. Samtlige av konkurranseindeksene som er testet i denne oppgaven tar utgangspunkt i det enkelte tres brysthøydiameter. For å gjøre det mulig å beregne overjordisk konkurranseindeks for disse trærne ble de tildelt en minimumsdiameter. Denne minimumsdiameteren ble beregnet ved sammenlikne konkurransebidraget fra trær med kjent brysthøydiameter med konkurransebidraget fra trær med manglende brysthøydiameter ved ulike minimumsdiametre.

Sammenhengen mellom grantrærnes tilvekst og ulike konkurranseindekser ble undersøkt ved multiple regresjonsanalyser. Samtlige analyser er utført separat for hvert bestand, og for begge bestandene samlet. Hver konkurranseindeks ble testet uavhengig med både høydertilvekst og diametertilvekst som responsvariabel. I analysene er det skilt mellom overjordisk- og underjordisk konkurranse. De overjordiske konkurranseindeksene ble regnet ut separat for gran og for andre treslag. Disse ble deretter summert opp for å vise det totale overjordiske konkurransetrykket for hvert fokustre. Underjordisk konkurransetrykk ble beregnet ved å summere opp antallet

konkurrenter for hvert fokustre, uavhengig av treslag. Modellene ble vurdert på bakgrunn av justert  $R^2$ -verdi, og visuell vurdering av residualplott.

Mange distanseavhengige konkurranseindekser forutsetter at det defineres en søkeradius rundt fokustreet. Denne søkeradiusen er avgjørende for hvilke trær som regnes som konkurrenter, og som dermed inkluderes i beregningen av konkurransetrykket. Grunnet utformingen av prøveflatene kan denne søkeradiusen maksimalt være 3,28 meter. I analysene er det konsekvent benyttet 3 meters søkeradius.

Konkurranseindeksene som ble testet i denne oppgaven er vist i tabell 2. Konkurranseindeksene ble valgt ut etter flere kriterier. En ønsket egenskap var at de skulle være basert på faktorer som er forholdsvis enkle å måle i felt. En annen egenskap var at de burde enkelt oppbygd, og tilsvarende enkle å regne ut. Dette fordi enkle registreringsprosedyrer og beregninger gjør konkurranseindeksen mer tilgjengelige og anvendbare for personer i forvalterroller. Med lett målbare faktorer menes i denne sammenheng egenskaper som diameter, høyde, treslag, treantall og avstand mellom trær. Dette er en egenskap som innehas av svært mange konkurranseindekser, og det var derfor nødvendig å foreta et utvalg. Konkurranseindeksene som ble valgt ut for testing oppfylder kriteriene ovenfor, og har alle blitt testet ut før i andre studier.

Tabell 2. Konkurranseindekser testet

Konkurranseindeks	Ligning
KI <sub>1</sub>	$KI = \sum (DBH_j/DBH_i)/A_{ij}$
KI <sub>2</sub>	$KI = \sum (DBH_j/DBH_i)$
KI <sub>3</sub>	$KI = \sum DBH_j/A_{ij}$
KI <sub>4</sub>	$KI = \sum DBH_j$
KI <sub>5</sub>	KI = Vinkelsum
KI <sub>6</sub>	$\sum N_j$

$KI$  er Konkurranseindeks,  $DBH_j$  er brysthøydiameter på konkurrenttre,  $DBH_i$  er brysthøydiameter på subjekttré,  $A_{ij}$  er horisontal avstand mellom subjekttré og konkurrenttre,  $H_j$  er høyde på konkurrenttre,  $H_i$  er høyde på subjekttré,  $N_j$  er antall konkurrenter innenfor søkeradiusen.

I Norge er det utviklet vekstmodeller som beskriver både høyde- og volumtilvekst for de fleste kommersielle treslag (Tveite 1977, Strand og Li 1990). Disse modellene er imidlertid basert på trær i ensjiktete og ensartede bestand, og er dermed ikke umiddelbart overførbare til datamaterialet i denne oppgaven (Frivold og Frank 2002). Det ble derfor besluttet å tilpasse en egen vekstmodellmodell på bakgrunn av det innsamlede datamaterialet.

Følgende modell ble brukt for å estimere grantrærnes potensielle tilvekst.

$$\Delta \text{ pot} = b_1 * \text{utgangsverdi} * b_2$$

Der  $\Delta \text{ pot}$  er potensiell tilvekst, og utgangsverdi er utgangsverdier ved begynnelsen av perioden. I denne oppgaven er det benyttet utgangsverdier for høyde og brysthøydiameter fra henholdsvis fire og tre år tilbake.

De ulike konkurranseindeksenes effekt på tilveksten ble estimert etter følgende formel.

Høydetilvekst:

$$\Delta = \Delta \text{ pot} * \exp (a_1 * \text{KIO} + a_2 * \text{KIU} + a_3 * \text{KIO} * \text{KIU})$$

Diametertilvekst:

$$\Delta = \Delta \text{ pot} * \exp (a_1 * \text{KIO} + a_2 * \text{KIU})$$

Der  $\Delta$  er estimert tilvekst, KIO er overjordisk konkurranseindeks, og KIU er underjordisk konkurranseindeks.

Premissene for modellen er at potensiell tilvekst beregnes ut fra utgangshøyden/utgangsdiameter. Dette potensialet begrenses av effekten av konkurranseindeksene. Dette er en velutprøvd måte å modellere tilvekst under ulike konkurransebelastninger (Pretzsch et al. 2002).

Under analysene av høydetilveksten i bestand 2 ble det i residualplottene oppdaget en systematisk overestimering av høydetilveksten hos trær med liten utgangshøyde. Denne overestimeringen ble forsøkt motvirket med å føye til et interaksjonsledd i vekstmodellen, som kombinerer effekten av den overjordiske og den underjordiske konkurranseindeksen.

## 2.4 Angående diameterberegning

Under arbeidet med måling av årringbredder unnlot jeg uheldigvis å måle bredden av 2009-årringene. Dette skyldes rett og slett at jeg ikke trodde denne årringen ville ha betydning i og med at innsankingen av stammeskive foregikk i vekstsesongen. Dette medførte visse problemer i analysestadiet da det ble klart at 2009-årringen var nødvendig for å beregne utgangsdiameteren. Det mest korrekte ville i dette tilfellet vært å komplimentere datamaterialet ved å måle samtlige stammeskiver på nytt. Dette lot seg imidlertid ikke gjennomføre av hensyn til tidsforbruk. Problemet ble håndtert ved å måle 2009-årringene på et utvalg stammeskiver, for deretter bruke denne informasjonen til å estimere 2009-tilveksten for de resterende trærne. Av stammeskivene som ble benyttet til estimeringen ble det valgt ut 5 fra begynnelsen av feltperioden, og 6 fra slutten av feltperioden. De utvalgte stammeskivene utgjorde et representativt utvalg i forhold til resten av stammeskivene med hensyn til størrelsesfordeling. Årringbreddene på de utvalgte stammeskivene ble brukt til å tilpasse følgende lineære regresjonsmodell:

$$\text{Tilvekst 09} = \text{Bestand} + \text{Gjennomsnittstilvekst 06-08}$$

Denne modellen ble brukt til å beregne den potensielle tilveksten for 2009. Modellen ble deretter tilført en korreksjonsfaktor for å kompensere for forskjellene i innsamlingstidspunkt.

Korreksjonsfaktoren ble regnet ut på følgende måte:

$$(\text{Innsamlingstidspunkt} - 189) / (240 - 189)$$

Der "Innsamlingstidspunkt" angir hvilken dag i vekstsesongen den aktuelle prøveflaten ble påbegynt, 189 er starttidspunktet for den første prøveflaten, og 240 er starttidspunktet for den siste prøveflaten. Korreksjonsfaktoren resulterer i et tall mellom 0 og 1, avhengig av når den enkelte prøveflaten ble påbegynt. I neste ledd ble korreksjonsfaktoren føyd til modellen istedenfor bestandsfaktoren for å finne den estimerte tilveksten for 2009. Dette innebærer i praksis at hver prøveflate får sin egen regresjonslinje. Denne framgangsmåten tilfører et ekstra element av usikkerhet til resultatene. Studier fra det sørlige Finland gir imidlertid en indikasjon på hvordan granas diametertilvekst arter seg gjennom vekstsesongen. Disse studiene viser at diametertilveksten i de fleste tilfeller innledes i juni, er forholdsvis lineær fram til slutten av juli, for deretter å flate ut og avta gjennom august (Mäkinen et al. 2003, Henttonen et al. 2009). Siden det under estimeringen av 2009-tilveksten er tatt hensyn til forskjeller i både bestand og innhøstingstidspunkt er det rimelig å anta at regresjonsestimeringen gjengir den reelle tilveksten på en realistisk måte.

### 3. Resultater

#### 3.1 Høydetilvekst

Gjennomsnittlig tilvekst i de to bestandene er vist i tabell 3. Som tabellen viser, var høydetilveksten noe større i bestand 2 enn i bestand 1.

Tabell 3. Gjennomsnittlig høydetilvekst.

Bestand	N observasjoner	Gjennomsnittlig tilvekst (cm)
1	437	12,45 ( $\pm$ 8,7)
2	199	12,93 ( $\pm$ 9,46)

Tabellene i vedlegg 1 viser regresjonsresultatene for høydetilvekst ved ulike kombinasjoner av konkurranseindekser. Overjordisk og underjordisk konkurranseindeks er testet både selvstendig og i kombinasjon med hverandre. Testene er utført selvstendig i begge bestand, og for begge bestandene samlet.

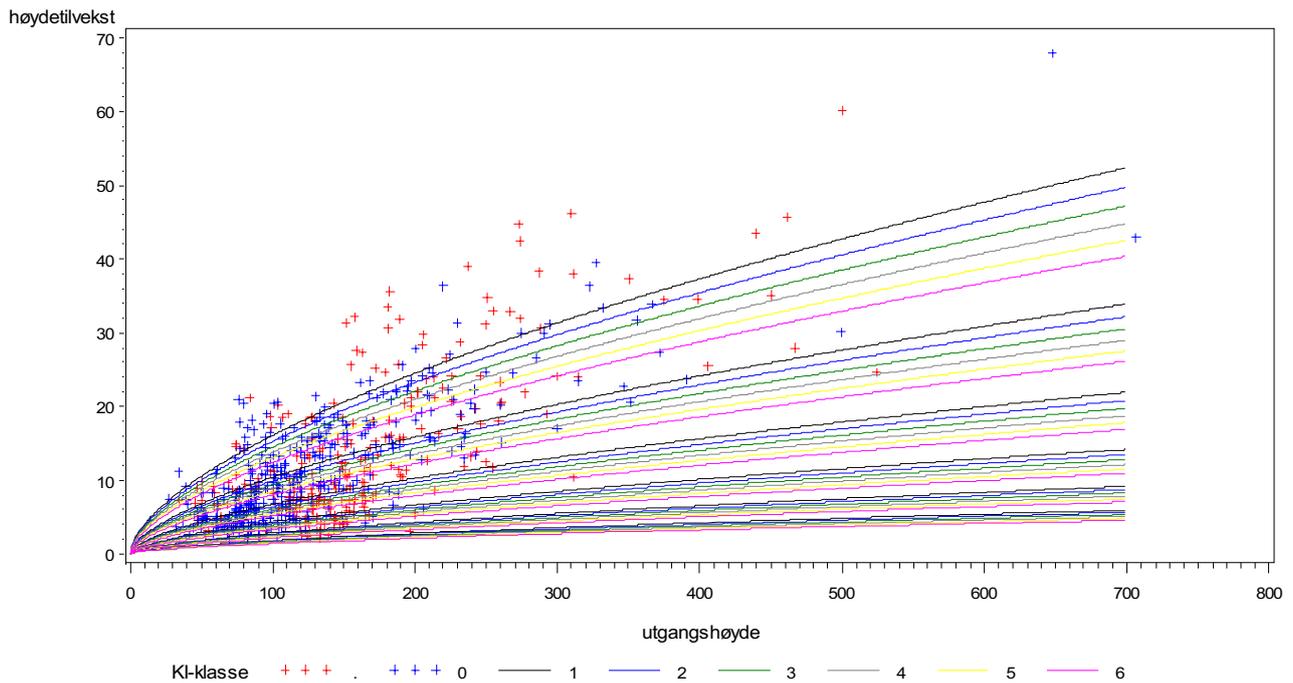
Samtlige modeller var signifikante med  $Pr > F < 0,0001$ . Som det går fram av tabellene var det enkelte modellkombinasjoner som resulterte i ikke-signifikante parameterestimer.  $R^2_{adj}$  - verdiene varierte fra 0,8591 til 0,9169. Høyest  $R^2_{adj}$  ble oppnådd i bestand 2 ved full modell, og KI 2 som overjordisk konkurranseindeks. Lavest ble oppnådd i bestand 2 med kun KI 4 som konkurranseindeks.

Tabell 4. Modeller med høyest forklaringssevne.

Bestand	Modell	$R^2_{adj}$
1	KI 1 + KI 6	0,9070
2	KI 2 + KI 6 + KI 2 * KI 6	0,9169
Komb	KI 1 + KI 6	0,8948

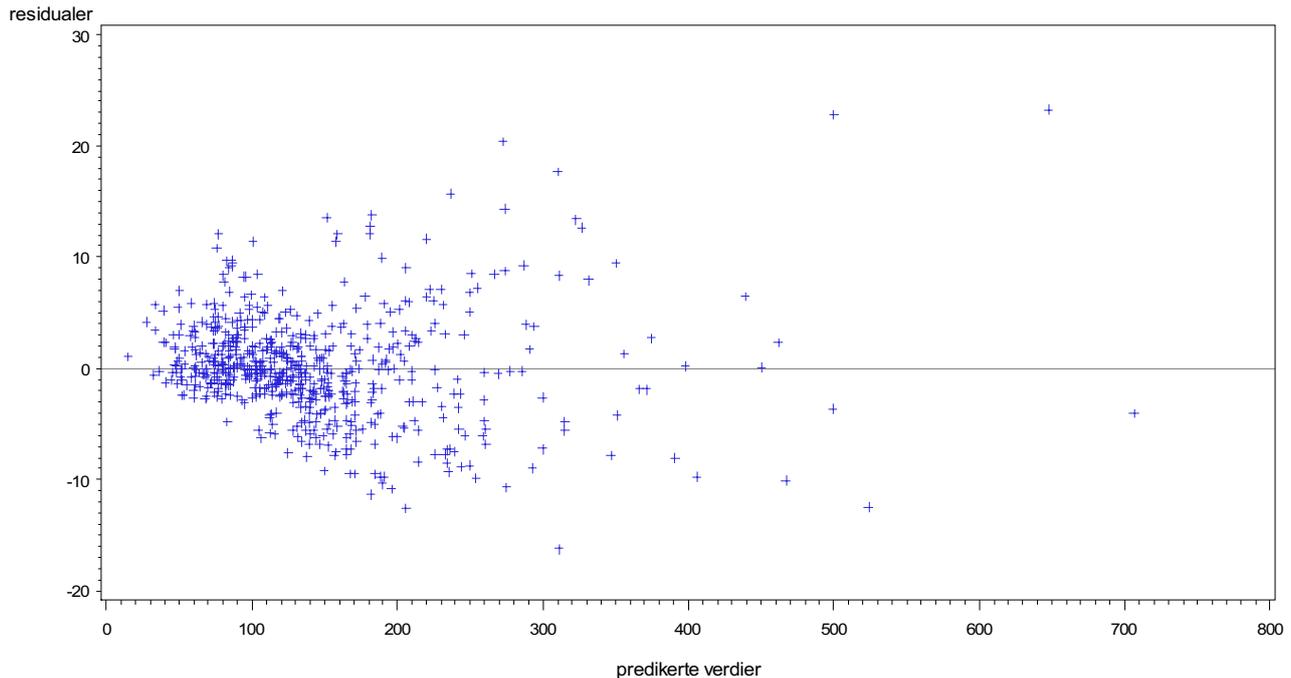
Tabell 4 viser en oversikt over modellene med best forklaringssevne i bestand 1 og bestand 2, og for begge bestandene kombinert. Ved testing av begge bestandene kombinert ble best resultat oppnådd med KI 1 i kombinasjon med underjordisk konkurranseindeks, men uten interaksjonsledd ( $R^2_{adj} = 0,8948$ ). Resultatet av denne modelltilpasningen er vist i figur 1. Det ble heller ikke påvist systematiske avvik i residualfordelingen (figur 2).

## Høydetilvekst kombinerte data



Figur1. Figuren viser høydetilveksten som en funksjon av utgangshøyden ved ulike nivå av konkurranse. I figuren er det for KI1 benyttet verdier på 0 til 600. KI6 er gitt verdier på 30 til 80. Hver av konkurranseindeksene er delt inn i fem like store klasser. Hver av disse klassene er representert med en farget linje i figuren. Den øverste svarte linjen viser høydetilvekst ved KI1 0 og KI6 30. Den neste svarte linjen viser høydetilvekst ved KI1 120 og KI6 40 osv. En kan se av figuren at KI1 har større effekt enn KI6.

## Residualplott høydetilvekst



Figur 2. Residualer i forhold til predikerte verdier for modellen med KI1 + KI6.

Som vist i tabell 2, er konkurranseindeksene KI1 og KI2 likt konstruert, med unntak av avstandsfaktoren som ikke er inkludert i KI2. Det samme er tilfellet for KI3 og KI4. KI1 hadde høyere  $R^2_{\text{adj}}$  enn KI2 i samtlige modellkombinasjoner, med unntak av i bestand 2, hvor KI2 hadde høyere  $R^2_{\text{adj}}$  både med modellen med kun overjordisk konkurranseindeks, og med den fulle modellen. KI4 hadde høyere  $R^2_{\text{adj}}$  enn KI3 i modellen som kombinerer overjordisk og underjordisk konkurranseindeks uten interaksjonsledd. Med unntak av disse tilfellene hadde modellene med distanseavhengige konkurranseindekser høyere  $R^2_{\text{adj}}$  enn de med distanseuavhengige konkurranseindekser.

Sammenlikning mellom modeller med kun overjordisk konkurranseindeks og kun underjordisk konkurranseindeks tyder på at det er visse forskjeller mellom de to bestandene. I bestand 1 ga samtlige overjordiske konkurranseindekser med unntak av KI4 høyere  $R^2_{\text{adj}}$ -verdi enn hva tilfellet var med kun underjordisk konkurranseindeks. Det motsatte var tilfelle i bestand 2, hvor den underjordiske konkurranseindeksen resulterte i høyere  $R^2_{\text{adj}}$ -verdi sammenliknet med samtlige overjordiske konkurranseindekser, med unntak av KI1. For begge bestandene kombinert gav de overjordiske konkurranseindeksene KI1, KI2, og KI3 høyere  $R^2_{\text{adj}}$ -verdi enn den underjordiske

konkurransindeksen KI6.

### 3.2 Diametertilvekst

Gjennomsnittlig tilvekst i de to bestandene er vist i tabell 5. Som tabellen viser, var diametertilveksten noe større i bestand 1 enn i bestand 2.

Tabell 5. Gjennomsnittlig diametertilvekst.

Bestand	N observasjoner	Gjennomsnittlig tilvekst (cm)
1	199	1,43 ( $\pm$ 0,54)
2	147	0,98 ( $\pm$ 0,44)

Tabellene i vedlegg 2 viser regresjonsresultatene for diametertilvekst ved ulike kombinasjoner av konkurranseindekser. Overjordisk og underjordisk konkurranseindeks er testet både selvstendig og i kombinasjon med hverandre. Testene er utført selvstendig i begge bestand, og for begge bestandene samlet.

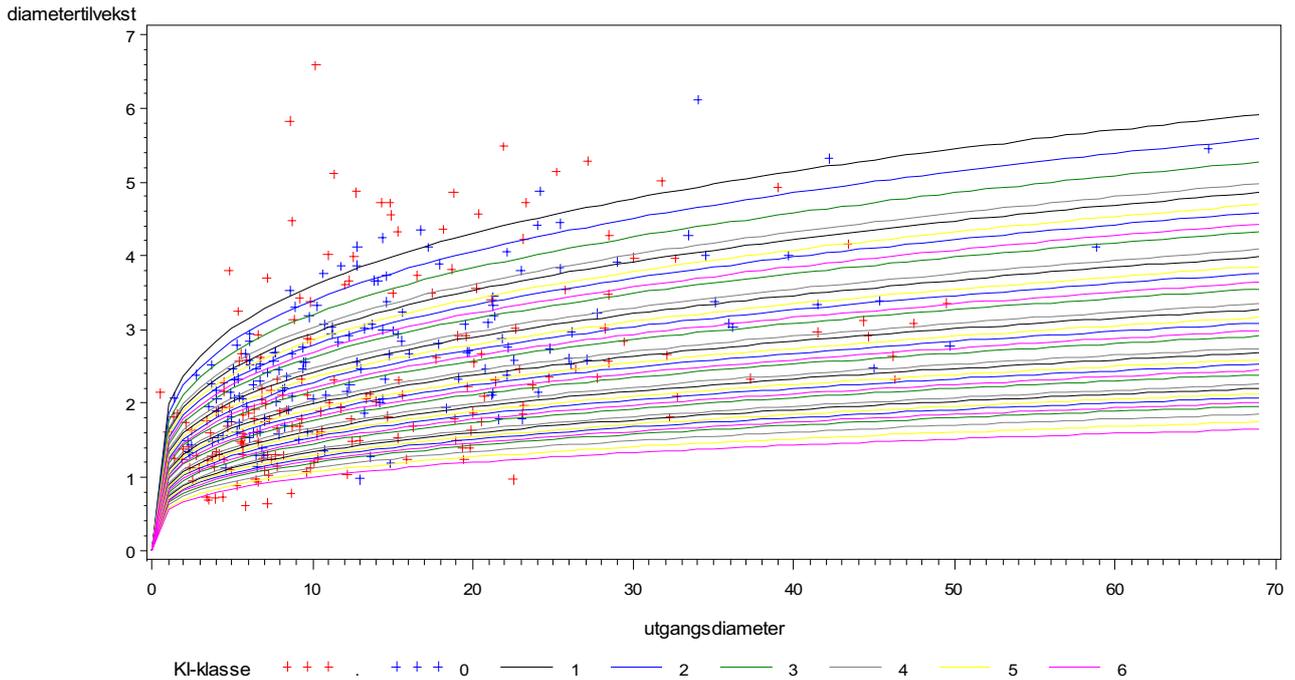
Av de konkurranseindekser som lot seg tilpasse til modellen, var samtlige signifikante med  $Pr > F < 0,0001$ . Som det går fram av tabellene var det enkelte modellkombinasjoner som resulterte i ikke-signifikante parameterestimer.  $R^2_{adj}$  - verdiene varierte fra 0,8870 til 0,9167. Høyest  $R^2_{adj}$  ble oppnådd i bestand 2 med kun KI6 som konkurranseindeks. Lavest ble oppnådd i bestand 2 med kun KI 3 som konkurranseindeks.

Tabell 6. Modeller med høyest forklaringssevne av diametertilveksten.

Bestand	Modell	$R^2_{adj}$
1	KI 5	0,9167
2	KI 4 + KI6	0,9274
Komb	KI 5 + KI 6	0,9060

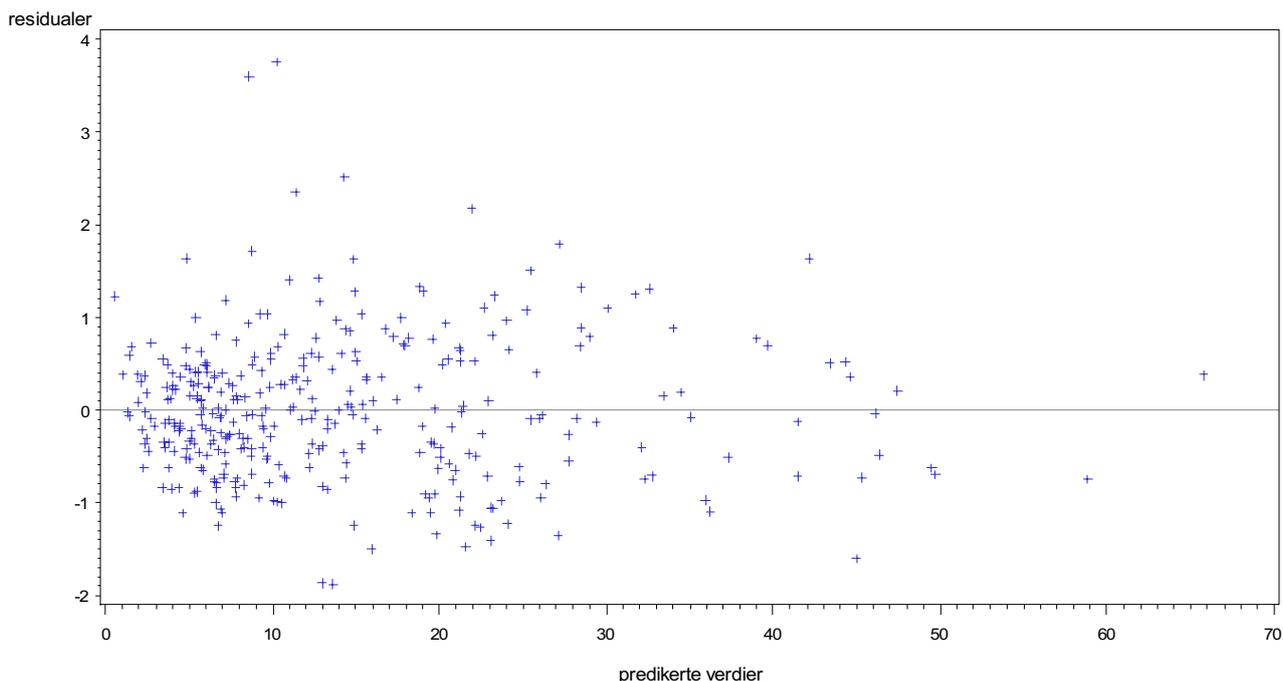
Tabell 6 viser en oversikt over modellene med best forklaringssevne i bestand 1 og bestand 2, og for begge bestandene kombinert. Ved testing av begge bestandene kombinert ble best resultat oppnådd med KI 5 i kombinasjon med underjordisk konkurranseindeks (KI6) ( $R^2_{adj} = 0,9060$ ). Resultatet av denne modelltilpasningen er vist i figur 3. Det ble ikke påvist systematiske avvik i residualfordelingen (fig 4).

## Diametertilvekst kombinerte data



Figur 3. Figuren viser diametertilveksten som en funksjon av utgangsdiameteren ved ulike nivå av konkurranse. I figuren er det for KI5 benyttet verdier på 0 til 200. KI6 er gitt verdier på 30 til 80. Hver av konkurranseindeksene er delt inn i fem like store klasser. Hver av disse klassene er representert med en farget linje i figuren. Den øverste svarte linjen viser høydetilvekst ved KI5 0 og KI6 30. Den neste svarte linjen viser høydetilvekst ved KI5 40 og KI6 40 osv. En kan se av figuren at KI5 har mindre effekt enn KI6.

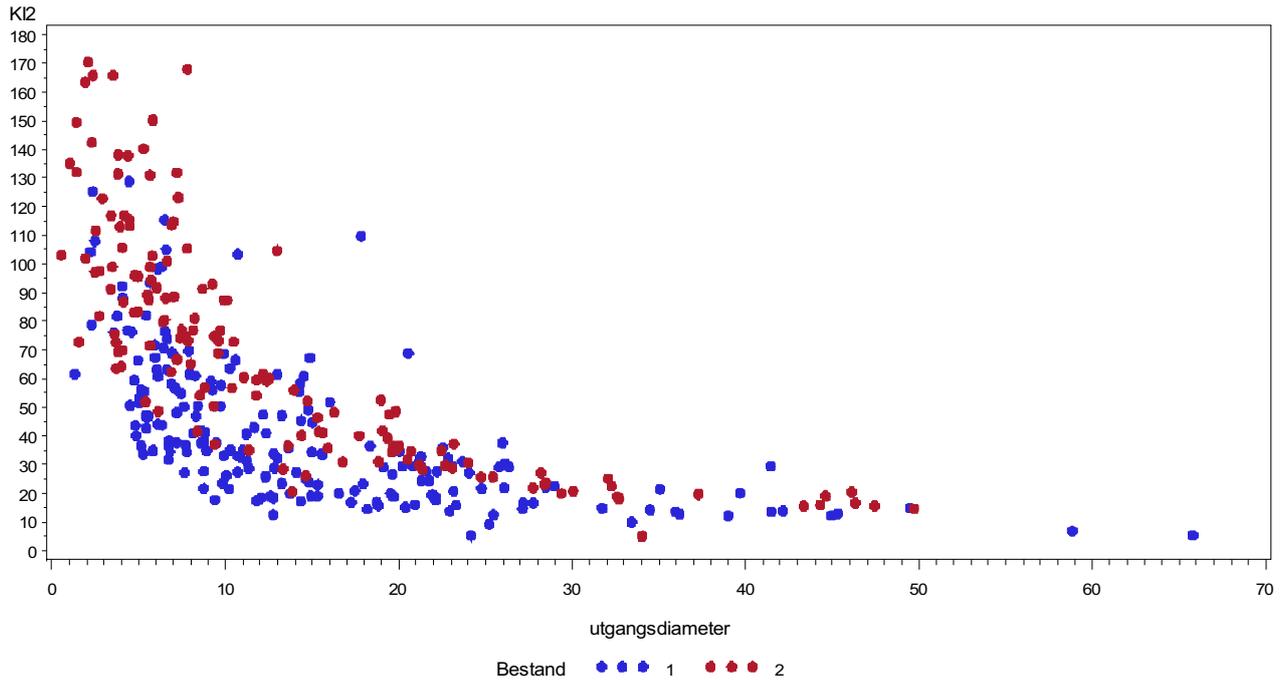
## Residualplott diametertilvekst



Figur 4. Residualer i forhold til predikerte verdier for modellen KI5 + KI6.

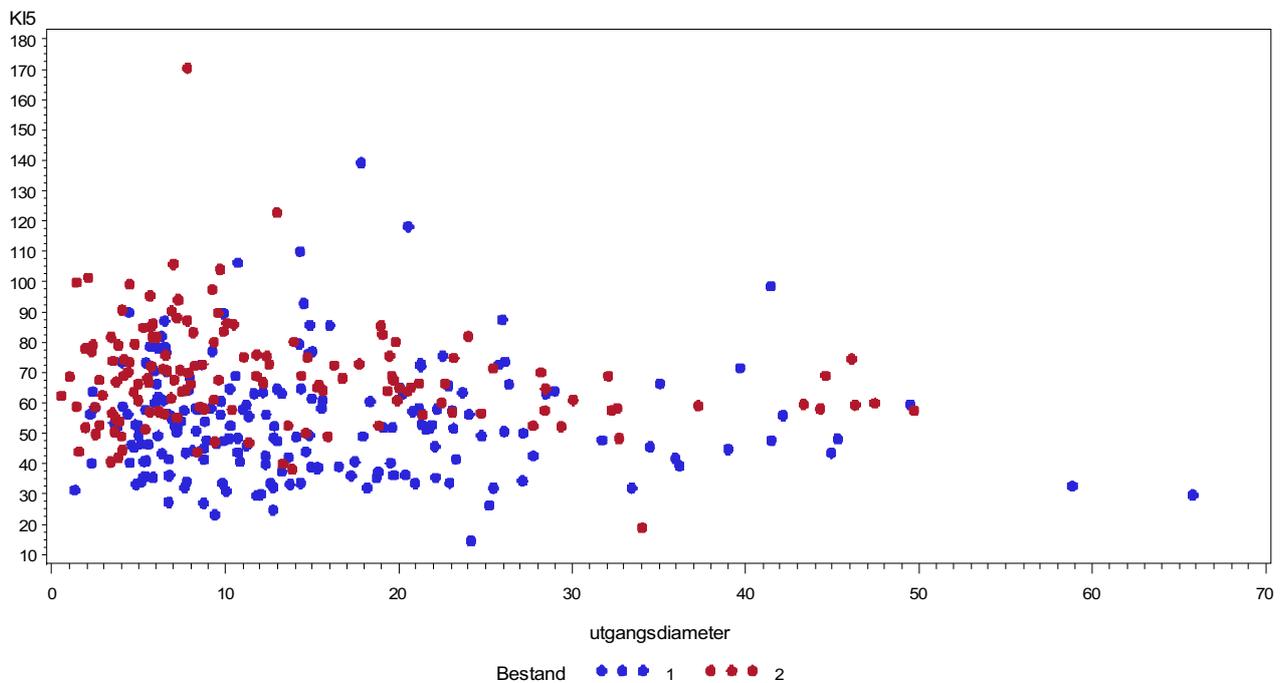
To av de overjordiske konkurranseindeksene (KI1 og KI2) lot seg ikke tilpasse til modellen slik den i denne oppgaven er brukt for å illustrere forholdet mellom diametertilvekst og konkurranse. Dette viste seg i praksis ved at parameteren  $b_2$  ble negativ. Dette innebar at den potensielle tilveksten ble uttrykt som en dalende kurve, hvilket er motsatt av hva som er forventet. Årsakene til dette avviket ble undersøkt ved å se på forholdet mellom konkurransen uttrykt gjennom konkurranseindeksen, og den forklarende variabelen utgangsdiameter. Dette forholdet er vist i figur 5. Som det går fram av figuren er utgangsdiameteren sterkt korrelert med konkurranseindeksen. Dette forholdet resulterer i at konkurranseindeksen ikke virker modererende på den potensielle tilveksten. Figur 6 viser tilsvarende informasjon om KI5. Dette er en velfungerende konkurranseindeks, og figuren er tatt med for å vise kontrasten i forhold til KI2. Figur 6 viser en langt svakere korrelasjon mellom konkurranseindeks og utgangsdiameter enn hva tilfellet er for KI2.

## Korrelasjon mellom KI2 og utgangsdiameter



Figur 5 Korrelasjon mellom KI2 og utgangsdiameter.

## Korrelasjon mellom KI5 og utgangsdiameter



Figur 6. Korrelasjon mellom KI5 og utgangsdiameter.

Forskjellene i forklaringssevne mellom den distanseavhengige konkurranseindeksen KI3, og den distanseuavhengige KI4 var mindre fremtredende enn hva tilfellet var for høydetilvekst. KI3 hadde høyere  $R^2_{\text{adj}}$ - verdi enn KI4 i bestand 1, mens det motsatte var tilfelle i bestand 2. For begge bestandene kombinert resulterte de to konkurranseindeksene i samme  $R^2_{\text{adj}}$  - verdi når de ble brukt selvstendig. I kombinasjon med den underjordiske konkurranseindeksen oppnådde KI3 høyere  $R^2_{\text{adj}}$ - verdi enn KI4.

I bestand 1 resulterte de overjordiske konkurranseindeksene KI3 og KI5 i høyere  $R^2_{\text{adj}}$  - verdi enn den underjordiske konkurranseindeksen KI6. I bestand 2 gav imidlertid KI6 høyere  $R^2_{\text{adj}}$  - verdi enn noen av de underjordiske konkurranseindeksene. Det samme var tilfelle for begge bestandene kombinert.

## **4. Diskusjon**

### **4.1 Metodikk**

Økologisk konkurranse i skogøkosystemer har vært gjenstand for omfattende studier, og antallet tilnæringsmåter er mangfoldige. Distanseavhengige enkeltremodeller, som behandles i denne oppgaven, har vært under utvikling i mer enn 30 år, og også innenfor dette feltet er metodeutvalget omfattende (Berger et al. 2008). Ved et studie av det omfang som er behandlet i denne oppgaven må det nødvendigvis gjøres visse begrensninger med hensyn til metodevalg både hva gjelder datainnsamling og analysearbeid. En åpenbar konsekvens av dette er omfanget av datamaterialet. De fire prøveflatene i bestand 1 gir trolig en bra representasjon av bestandet, ettersom dette var av forholdsvis lite areal. I bestand 2 hadde jeg av tidsmessige årsaker kun anledning til å gjøre registreringer i to prøveflater. Her kunne det trolig vært gunstig med flere registreringer. Bestandet var omtrent av samme størrelse som bestand 1, men likt antall prøveflater i hvert bestand ville gjort sammenlikninger mellom de to bestandene sikrere.

Selve registreringene som er utført på prøveflatene vil være beheftet med et visst element av målefeil, men ingenting i resultatene tyder på annet enn at denne feilen kun er av tilfeldig karakter. Særlig ved målingene av trærnes kompasskurs i forhold til prøveflatesentrum vil det ha forekommet mindre avvik fra sann verdi.

Målingene av trehøyder og toppskuddlengder på trær lavere enn fem meter er utført med stor grad av nøyaktighet, ettersom det ble brukt teleskopisk målestokk. For trær høyere enn fem meter er det imidlertid benyttet vertex høydemåler. Disse målingene er trolig beheftet med tilfeldige feil, ettersom enkelte av prøveflatene var svært tette og med dårlig sikt. Av samme grunn ble det besluttet ikke å måle høyden på samtlige løvtrær innenfor prøveflaten, men kun på et representativt utvalg. Som en konsekvens av dette ble det besluttet å utelate konkurranseindekser som tar utgangspunkt i trehøyder fra analysene. Denne typen konkurranseindekser ville i så fall ikke bare være beheftet med tilfeldige målefeil, men også usikkerhet i forbindelse med regresjonsestimering av trehøyder.

Under datainnsamlingen ble det kun utført diametermåling i brysthøyde. Dette resulterte i visse problemer under analysearbeidet, ettersom et stort antall av trærne ikke hadde nådd brysthøyde. Ved å beregne en minimumsdiameter for disse trærne var det likevel mulig å la dem inngå i konkurranseindekser basert på brysthøydiameter. Dette problemet kunne vært unngått ved å måle diameter for eksempel ved rothalsen eller noe lenger opp på stammen, i tillegg til i brysthøyde.

Når det gjelder målingene av årringtykkelse, ble det benyttet måleutstyr med høy grad av nøyaktighet. Et betydelig feilelement i forbindelse med analysene av diametertilvekst utgjøres av estimeringen av 2009-årringen. Selv om regresjonsestimeringen trolig gir en troverdig gjengivelse av diametertilveksten slik den beskrives av Henttonen et al. (2009) og Mäkinen et al. (2003), vil det likevel være knyttet et element av usikkerhet til disse anslagene. Av denne grunn ble det besluttet ikke å regne om diametertilveksten til grunnflatetilvekst. Dette fordi denne regneoperasjonen innebærer en kvadrering av diameteranslaget, og dermed også en kvadrering av feilen knyttet til dette.

## **4.2 Høydetilvekst**

Best resultat ble oppnådd med KI1 i kombinasjon med KI6. Som vist i figur 1 resulterte denne kombinasjonen i en ganske oversiktlig modell. Mangelen på overlapp mellom klasselinjene tyder på at KI1 har større innflytelse i modellen enn KI6.

Den konkurranseindeksen som selvstendig (ikke i kombinasjon med en annen konkurranseindeks) hadde høyest forklaringssevne for høydetilveksten var KI1. Denne konkurranseindeksen framstiller konkurranstrykket som en funksjon av forholdet mellom konkurrentenes brysthøydiameter og fokustreets brysthøydiameter, vektet med avstanden mellom konkurrent og fokustre. Dette er en velkjent konkurranseindeks, og varianter av denne har oppvist bra resultater i en rekke studier (Lorimer 1983, Mailly et al. 2003, Rivas et al. 2005, Castagneri et al. 2008, Davies og Pommering 2008, Harper 2009 Biging og Dobberting 1992, Holmes og Reed 1991). Ulike varianter og modifiseringer av denne konkurranseindeksen kan for eksempel innebære kvadrering av en eller flere faktorer, eller å føye til en konstant et eller flere steder i likningen. Utgangspunktet er i de fleste tilfeller den samme likningen, og eventuelle modifikasjoner har oftest til hensikt å forsterke eller nedtone en eller flere faktorer.

Selv om konkurranseindeksen er velkjent og godt utprøvd, har det ikke lyktes meg å finne mange studier der den har blitt brukt til å forklare høydetilvekst. Biging og Dobberting (1992), fant at en variant av denne konkurranseindeksen fungerte like bra som mer kompliserte konkurranseindekser der også kronevolum og kroneareal ble tatt med i likningen. Dette studiet tok imidlertid for seg blandingskog på den amerikanske vestkysten, og dette konkrete resultatet gjaldt for hvitgran (*Abies concolor*). Overføringsverdien til resultatene som er kommet fram i denne oppgaven er derfor begrenset.

Braathe (1988) studerte hvordan konkurransebelastning fra bjørk påvirket både høyde- og diametertilveksten hos gran i tidlige utviklingsstadier. Den problemstillingen er svært sammenfallende med det som blir behandlet i denne oppgaven. I Braathes studier er det benyttet en tilsvarende modell som i denne oppgaven, ved at potensiell høydetilvekst er en funksjon av utgangshøyde, og at realisert høydetilvekst er en funksjon av konkurranseindeksens reduksjon av den potensielle høydetilveksten. Konkurranseindeksen benyttet i Braathes studier har likhetstrekk med KI1, men benytter høydeforskjell mellom konkurrent og fokustre, istedetfor diameterforhold. Denne typen konkurranseindeks ble ikke forøkt testet ut, ettersom usikkerheten forbundet med regresjonsestimering av trehøyder ble vurdert til å være for stor. Et mulig ankepunkt mot denne konkurranseindeksen er at kun trær som er høyere enn fokustreet bidrar til nedsatt høydetilvekst. Braathe begrunner dette med å vise til planteavstandsforsøk som viser at granas høydetilvekst er lite påvirket av tetthet så lenge vekstforholdene er gode. Dette står i kontrast til mine resultater, som viser at tetthet i form av underjordisk konkurranseindeks (KI6) har tildels stor betydning for høydetilveksten hos gran. Dette til tross for at vekstforholdene i begge bestandene må betegnes som

gode, vurdert ut fra bonitet. Konkurransindeksen har likefullt vist seg effektiv, og i framtidige studier ville det vært interessant å teste den ut i kombinasjon med en underjordisk konkurransindeks.

Selv om KI1 var den overjordiske konkurransindeksen som gav best resultat i form av justert  $R^2$ -verdi, var det generelt svært liten variasjon mellom de ulike modellkombinasjonene.

### 4.3 Diametertilvekst

Best resultat ble etter en helhetsvurdering oppnådd med KI5 i kombinasjon med KI6. Som vist i figur 3 er det i denne modellen stor grad av overlapp mellom linjene som representerer konkurransbelastning. Dette er en konsekvens av at KI6 har større innflytelse enn KI1, noe som gir overlapp mellom de seks klassene av KI1.

Den konkurransindeksen som selvstendig hadde størst betydning for diametertilveksten var KI6. At underjordisk konkurranse hadde større betydning for diametertilvekst enn for høydertilvekst, er et påfallende faktum som vil bli behandlet i et senere avsnitt.

Den overjordiske konkurransindeksen som selvstendig hadde størst betydning for diametertilveksten var KI5. Denne konkurransindeksen beregner konkurransbelastningen for det enkelte tre som en funksjon av summen av de horisontale vinklene fra fokustreet til stammen av konkurrentene innenfor søkeradiusen. Konkurransindeksen er en forenklet versjon av en brukt av Pukkala og Kolström (1987), og Pukkala (1989). I Pukkalas versjon er ofte vinkelsummen vektet med høydeforholdet mellom fokustre og konkurrenttre. Denne konkurransindeksen har i andre studier oppvist tildels gode resultater, men ingen av disse studiene er direkte sammenlignbare med forutsetningene som ligger til grunn i denne oppgaven (Pukkala 1989, Castagneri et al. 2008). Siden leddet med høydeforhold er utelatt, baseres konkurransindeksen kun på konkurrentenes dimensjoner, og avstand mellom konkurrent og fokustre. Konkurransindeksen ble ikke testet ut med høydeforholdsfaktoren, siden det ikke ble registrert trehøyde for samtlige løvtrær.

Det er verdt å merke seg at kun konkurransindekser basert på konkurrentenes dimensjoner (med eller uten avstandsfaktor) resulterte i funksjonelle modeller. Årsakene til dette er som vist i resultatkapitlet at konkurransindeksene basert på diameterforhold er for tett korrelert med utgangsdiameteren.

#### **4.4 Vurdering av distanseavhengige og distanseuavhengige konkurranseindekser**

Nest etter KI1, var KI2 den konkurranseindeksen som etter helhetsvurdering oppviste best resultater i forhold til høydetilvekst. For diametertilvekst kan det samme sies om KI4. Som nevnt i resultatkapitlet, er disse konkurranseindeksen identisk med KI1 og KI3, med unntak av distansefaktoren. Denne sammenlikningen mellom distanseavhengige og distanseuavhengige konkurranseindekser er tatt med i mange forsøk og studier, og konklusjonene er i stor grad sprikende (Biging og Dobbartin 1995, Lorimer 1983, Harper 2009, Mailly et al. 2003, Rivas et al. 2006, Castagneri et al. 2008, Daniels et al. 1986). Det er vanskelig å trekke konklusjoner ut fra disse studiene, ettersom de i stor grad er utført under ulike premisser hva angår treslag, bestandsstruktur, utviklingsstadium, og geografi. Rent intuitivt er det nærliggende å anta at distanseavhengige konkurranseindekser vil ha et fortrinn i bestand med stor variasjon i tetthet og dimensjoner. I mer ensartede bestand, er det derimot nærliggende å anta at distansefaktoren har mindre betydning, ettersom trærne vil stå mer jevnt fordelt og oppvise mindre variasjon med hensyn til dimensjonsfordeling (Biging og Dobbartin 1995 ).

Når en ser utelukkende på bruk av overjordiske konkurranseindekser, er det et påfallende faktum at distanseavhengige konkurranseindekser fungerte best i bestand 1, mens distanseuavhengige fungerte best i bestand 2. Dette er tilfelle både for høydetilvekst og for diametertilvekst. Som vist i tabell 1, var det i bestand 1 generelt noe mer variasjon i tredimensjoner enn hva tilfellet var i bestand 2. Bestand 2 var også betydelig tettere, både hva angår gran og løvtrær. Samlet sett støtter dette opp om hypotesen om at distanseavhengige konkurranseindekser presterer best i ujevne bestand, og distanseuavhengige konkurranseindekser best i homogene bestand. Forskjellene i justert  $R^2$ -verdi mellom de distanseavhengige og de distanseuavhengige konkurranseindeksene var imidlertid små, og det samme var tilfelle for forskjellene i dimensjonsfordeling mellom de to bestandene. Det er derfor vanskelig å trekke noen klar konklusjon i dette spørsmålet.

#### **4.5 Vurdering av overjordisk og underjordisk konkurranse**

Resultatene viser at den underjordiske konkurranseindeksen hadde til dels stor betydning. Dette var i større grad tilfelle for modellene som beskriver diametertilvekst enn for modellene som beskriver høydetilvekst. Denne betydningen var også klart mer fremtredende i bestand 2 enn i bestand 1. I mange studier har betydningen av underjordisk konkurranse om vann og næringsstoffer ofte blitt nedprioritert i forhold til betydningen av overjordisk konkurranse om lys. Mye tyder imidlertid på at

underjordisk konkurranse under visse forutsetninger kan være av like stor eller større intensitet enn overjordisk konkurranse. Tradisjonelle overjordiske konkurranseindekser tar hovedsakelig utgangspunkt i at trærne konkurrerer om lys. På lavere boniteter og under tørkeforhold, vil konkurransen om underjordiske ressurser som vann og næringsstoffer bli mer fremtredende, og konkurranseindeksen vil da miste mye av sin effekt. Under slike forhold vil en modell med kun overjordisk konkurranseindeks hypotetisk sett resultere i en underpredikering av veksten til undertrykte trær (Pretzsch og Biber 2010, Wilson 1988).

Datamaterialet og analyseresultatene gir indikasjoner på hvorfor underjordisk konkurranse var mer fremtredende i bestand 2 enn i bestand 1. Begge bestandene var av middels høy bonitet, og vegetasjonstypen ble i begge bestand bedømt til å være av de mer produktive. Den tydeligste forskjellen mellom de to bestandene var at bestand 2 hadde en langt høyere tetthet, både med hensyn til gran og løvtrærarter. En sannsynlig forklaring er at den høye tettheten i bestand 2 førte til at konkurransen om underjordiske ressurser var mer avgjørende enn konkurransen om lys.

I denne oppgaven er det benyttet et svært enkelt uttrykk for å beskrive underjordisk konkurranse om vann og næringsstoffer. En rekke andre metoder er tenkelige, blant annet bestandstetthetsindeks (Reineke 1933), eller mer kompliserte tilnæringer basert på økologisk felt teori (Miina og Pukkala 2002).

#### **4.6 Avsluttende bemerkninger**

De to anbefalte modellkombinasjonene for henholdsvis høydetilvekst og diametertilvekst ga begge en bra gjengivelse av veksten i de to bestandene under ulike konkurransebelastninger. Det faktum at både overjordisk og underjordisk konkurranse er tatt med i modellene, gjør dem også ganske fleksible. Resultatene som er framskaffet i denne oppgaven har imidlertid begrenset global anvendbarhet, ettersom de kun er basert på registreringer i to bestand. For å øke nytteverdien av modellene er det nødvendig med et langt større datamateriale, som også omfatter et bredere spektrum av vekstforhold og bestandsstrukturer enn det som er behandlet i denne oppgaven.

## 5. Referanseliste

- Berger, U., Piou, C., Schifffers, K., Grimm, V. (2008). Competition among plants: Concepts, individual-based modelling approaches, and a proposal for a future research strategy. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 9: 121-135.
- Biging, G. S., Dobbertin, M. (1992). A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. *Forest Science* 38(3):695-720.
- Biging, G. S., Dobbertin, M. (1995). Evaluation of competition indices in individual tree growth models. *Forest Science* 41(2):360-377.
- Braathe, P. (1988). Utviklingen av gjenvekst med ulike blandingsforhold mellom bartrær og løvtrær – II. Norsk institutt for skogforskning, Rapport (8/88): 50.
- Brunner, A. og Nigh, G. (2000). Light absorption and bole volume growth of individual Douglas-fir trees. *Tree Physiology* 20:323 – 332.
- Castagneri, D., Vacchiano, G., Lingua, E., Motta, R. (2008). Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy). *Forest Ecology and Management* 225:651-659.
- Daniels, R. F., Burkhart, H. E., Clason, T. R. (1986). A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16(6): 1230-1237.
- Davies, O., Pommering, A. (2008). The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula* spp.) crowns. *Forest Ecology and Management* 256:68-77.
- Fremstad, E. (1997). Vegetasjonstyper i Norge. NINA Temahefte 12: 1-279.
- Frivold, L. H., Frank, J. (2002). Growth of Mixed Birch-Coniferous Stands in Relation to Pure Coniferous Stands at Similar Sites in South-eastern Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17:139 – 149.
- Gobakken, T. og Næsset, E. (2002). Spruce diameter growth in young mixed stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and birch (*Betula pendula* Roth *B. Pubescens* Ehrh.). *Forest Ecology and Management* 171(3): 197 – 308.
- Hansen, K. H. (2003). Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. *Forest Ecology and Management* 180:199 – 213.
- Harper, G., O'Neill, M., Fielder, P., Newsome, T., DeLong, C. (2009). Lodgepole pine growth as a function of competition and canopy light environment within aspen dominated mixedwoods of central interior British Columbia. *Forest Ecology and Management* 257:1829 – 1838

- Henttonen, H. M., Mäkinen, H., Nöjd, P. (2009). Seasonal dynamics of the radial increment of Scots pine and Norway spruce in the southern and middle boreal zones in Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 606-618.
- Holmes, M. J., Reed, D. D. (1991). Competition indices for mixed species northern hardwoods. *Forest Science* 37(5): 1338-1349.
- Johansson, T. (2003). Mixed stands in Nordic countries – a challenge for the future. *Biomass and Bioenergy* 24:365 – 372.
- Levende Skogs standarder. (u.å). Lokalisert 02.05.2010 på World Wide Web: [http://www.levendeskog.no/sider/tekst.asp?side=324&submeny=Levende Skog standarden&niv2=&menuid=239](http://www.levendeskog.no/sider/tekst.asp?side=324&submeny=Levende_Skog_standarden&niv2=&menuid=239)
- Lorimer, G. C. (1983) Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *Forest Ecology and Management* 6:343-360.
- Mailly, D., Turbis, S., Pothier, D. (2003). Predicting basal area increment in a spatially explicit, individual tree model: a test of competition measures with black spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 33:435 – 443.
- Mäkinen, H., Nöjd, P., Saranpää, P. (2003). Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. *Tree Physiology* 23: 959-968.
- Miina, J., Pukkala, T. (2002). Application of ecological field theory in distance-dependent growth modelling. *Forest Ecology and Management* 161: 101-107.
- Pretzsch, H., Biber, P., Dursky, J. (2002). The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162: 3-21.
- 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* 40: 370-384.
- Pukkala, T., Kolström, T. (1987). Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. *Silva Fennica* 21(1): 55-67.
- Pukkala, T. (1989). Methods to describe the competition process in a tree stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4:187-202.
- Reineke, L. H. (1933) Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46:627-638.
- Rivas, C. J. J., Alvarez, J. G., Gonzales, O. A., Hernandez, F. J., (2005). The effect of competition on individual tree basal area growth in mature stands of *Pinus cooperi* Blanco in Durango (Mexico). *European Journal of Forest Research* 124:133-142.

Schütz, J.-P. 1989. Zum Problem der Konkurrenz in Mischbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 140: 1069-1083.

Smith, D. M., Larson, B. C., Kelty, M. J., Ashton, P. M. S. (1997). The practice of silviculture: applied forest ecology. 9. utg. New York, John Wiley & Sons, Inc.

Strand, L., Li, L. (1990). Determination of volume increment on single trees of Norway spruce. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 513-523.

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 195:1 – 21.

Tveite, B. (1977). Bonitetskurver for gran. Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning. 33.1: 1-84.

Welles, J. M., and Norman, J. M. 1991. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. Agronomy Journal 83: 818-825.

Wilson, J. B. (1988). Shoot competition and root competition. Journal of Applied Ecology. 25:279-296.

## 6. Vedlegg

### 6.1 Vedlegg 1. Høydetilvekst

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av overjordisk og underjordisk konkurranseindeks.

Modellen som ligger til grunn er:

$$\Delta \text{ pot} = b_1 * \text{utgangshøyde} * b_2$$

$$\Delta = \Delta \text{ pot} * \exp(a_2 * \text{KIO} + a_2 * \text{KIU} + a_3 * (\text{KIO} * \text{KIU}))$$

Modell angir hvilke konkurranseindekser som er benyttet. Best angir hvilket bestand beregningene er gjort for.  $Pr > F$  er modellens signifikansverdi.  $R^2_{\text{adj}}$  er justert multipl korrelasjonskoeffisient for modellen.  $a_1 - b_2$  er parameterestimater ( $a_1 =$  overjordisk KI,  $a_2 =$  Underjordisk KI,  $a_3 =$  interaksjon av overjordisk og underjordisk KI,  $b_1$  og  $b_2 =$  potensiell vekst.).  $a_1S - b_2S$  er standardavvikene til parameterestimaterne.  $Pr > t$  er parameterestimatenes signifikansnivå angitt fra  $<0,001$  til ns for ikke-signifikant.

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI1 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> S	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> S	Pr > t	a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> S	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> S	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub> S	Pr > t
KI1	1	<0,0001	0,90310	-0,00315	0,00031	<0,001							1,30390	0,28940	<0,001	0,53840	0,04000	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,88310			<0,001	-0,00598	0,00095	<0,001				0,30740	0,52800	ns	0,82550	0,02970	<0,001
KI1 + KI6	1	<0,0001	0,90700	-0,00285	0,00031	<0,001	-0,00359	0,00084	<0,001				1,43100	0,30530	<0,001	0,54910	0,03830	<0,001
KI1 + KI6 + KI1*KI6	1	<0,0001	0,90680	-0,004240	0,000750	<0,001	-0,004920	0,001040	<0,001	0,000023	0,000011	<0,05	1,693900	0,387600	<0,001	0,530200	0,039400	<0,001
KI1	2	<0,0001	0,89530	-0,00889	0,00119	<0,001							0,98740	0,49180	<0,05	0,62270	0,08390	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,87680			<0,001	-0,01240	0,00196	<0,001				0,06620	0,02110	<0,01	1,16480	0,05630	<0,001
KI1 + KI6	2	<0,0001	0,90310	-0,00680	0,00109	<0,001	-0,00782	0,00179	<0,001				0,91000	0,41210	<0,05	0,70090	0,08030	<0,001
KI1 + KI6 + KI1*KI6	2	<0,0001	0,91300	0,008690	0,002220	<0,001	0,003940	0,002720	<0,1	-0,0000310	0,000044	<0,001	0,610700	0,254000	<0,05	0,668600	0,073600	<0,001
KI1	Komb	<0,0001	0,88790	-0,00443	0,00039	<0,001							1,06000	0,22970	<0,001	0,58130	0,03820	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,87260			<0,001	-0,00761	0,00087	<0,001				0,22530	0,03540	<0,001	0,89410	0,02710	<0,001
KI1 + KI6	Komb	<0,0001	0,89480	-0,00363	0,00036	<0,001	-0,00520	0,00080	<0,001				1,15380	0,23140	<0,001	0,60630	0,03570	<0,001
KI1 + KI6 + KI1*KI6	Komb	<0,0001	0,89470	-0,003060	0,000883	<0,001	-0,004680	0,001050	<0,001	-0,000010	0,000015	ns	1,111500	0,234900	<0,001	0,608800	0,036300	<0,001

### Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI2 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> S	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> S	Pr > t	a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> S	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> S	P-verdi	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub> S	Pr > t
KI2	1	<0,0001	0,90110	-0,00217	0,00022	<0,001							1,30140	0,30070	<0,001	0,53820	0,04160	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,88310				-0,00598	0,00095	<0,001				0,30740	0,05280	<0,001	0,82550	0,02970	<0,001
KI2 + KI6	1	<0,0001	0,90430	-0,00194	0,00022	<0,001	-0,00333	0,00086	<0,001				1,37430	0,30600	<0,001	0,53350	0,04010	<0,001
KI2 + KI6 + KI2*KI6	1	<0,0001	0,90440	-0,002580	0,000538	<0,001	-0,004160	0,001060	<0,001	0,000011	0,000008	ns	1,546100	0,372100	<0,001	0,539600	0,041500	<0,001
KI2	2	<0,0001	0,89580	-0,00680	0,00088	<0,001							1,45840	0,76300	<0,1	0,56010	0,08770	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,87680				-0,01240	0,00196	<0,001				0,06620	0,02110	<0,01	1,16480	0,05530	<0,001
KI2 + KI6	2	<0,0001	0,90150	-0,00501	0,00083	<0,001	-0,00708	0,00186	<0,001				1,06450	0,51690	<0,05	0,66900	0,08660	<0,001
KI2 + KI6 + KI2*KI6	2	<0,0001	0,91690	0,007210	0,001770	<0,001	0,007340	0,003080	<0,05	-0,000240	0,000035	<0,001	0,658000	0,288800	<0,05	0,628200	0,078700	<0,001
KI2	Komb	<0,0001	0,88640	-0,00300	0,00027	<0,001							1,05330	0,23560	<0,001	0,85170	0,03940	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,87260				-0,00761	0,00087	<0,001				0,22530	0,03540	<0,001	0,89410	0,02710	<0,001
KI2 + KI6	Komb	<0,0001	0,89240	-0,00242	0,00025	<0,001	-0,00493	0,00081	<0,001				1,09120	0,22620	<0,001	0,61300	0,03710	<0,001
KI2 + KI6 + KI2*KI6	Komb	<0,0001	0,89250	0,89250	-0,001620	<0,01	-0,003870	0,001080	<0,001	-0,000020	0,000011	<0,1	1,006900	0,221300	<0,001	0,618800	0,037800	<0,001

### Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI3 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> S	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> S	Pr > t	a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> S	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> S	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub> S	Pr > t
KI3	1	<0,0001	0,88320	-0,00044	0,00007	<0,001							0,32740	0,05710	<0,001	0,83000	0,02910	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,88310				-0,00598	0,00095	<0,001				0,30740	0,05280	<0,001	0,82550	0,02970	<0,001
KI3 + KI6	1	<0,0001	0,88680	-0,00027	0,00007	<0,001	-0,00418	0,00108	<0,001				0,37790	0,06550	<0,001	0,81240	0,02890	<0,001
KI3 + KI6 + KI3*KI6	1	<0,0001	0,88690	-0,00041	0,00015	<0,01	-0,00733	0,00299	<0,05	0,000000	0,000000	ns	0,43210	0,09030	<0,001	0,81080	0,02880	<0,001
KI3	2	<0,0001	0,86160	-0,00035	0,00014	<0,05							0,03730	0,01400	<0,01	1,20620	0,06040	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,87680				-0,01240	0,00196	<0,001				0,06620	0,02110	<0,01	1,16480	0,05530	<0,001
KI3 + KI6	2	<0,0001	0,87620	-0,00001	0,00013	ns	-0,01230	0,00227	<0,001				0,06660	0,02770	<0,05	1,16430	0,05630	<0,001
KI3 + KI6 + KI3*KI6	2	<0,0001	0,87620	0,00024	0,00029	ns	-0,00800	0,00530	ns	-0,00001	0,00001	<0,05	0,05590	0,02230	<0,05	1,16000	0,05610	<0,001
KI3	Komb	<0,0001	0,86920	-0,00044	0,00006	<0,001							0,21340	0,03480	<0,001	0,90700	0,02730	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,87260				-0,00761	0,00087	<0,001				0,22530	0,03540	<0,001	0,89410	0,02710	<0,001
KI3 + KI6	Komb	<0,0001	0,87500	-0,00021	0,00006	<0,001	-0,00580	0,00101	<0,001				0,26480	0,04220	<0,001	0,88300	0,02660	<0,001
KI3 + KI6 + KI3*KI6	Komb	<0,0001	0,87480	-0,00021	0,00013	ns	-0,00584	0,00271	<0,05	0,000000	0,000000	ns	0,26520	0,05050	<0,001	0,88290	0,02670	<0,001

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI4 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> S	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> S	Pr > t	a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> S	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> S	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub> S	Pr > t
KI4	1	<0,0001	0,88110	-0,00036	0,00006	<0,001							0,31590	0,05710	<0,001	0,84910	0,02940	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,88310				-0,00598	0,00095	<0,001				0,30740	0,05280	<0,001	0,82550	0,02970	<0,001
KI4 + KI6	1	<0,0001	0,88330	-0,00013	0,00010	ns	-0,00445	0,00145	<0,01				0,33030	0,05930	<0,001	0,82850	0,02960	<0,001
KI4 + KI6 + KI4*KI6	1	<0,0001	0,88300	-0,00014	0,00014	ns	-0,00485	0,00458	ns	0,00000	0,00000	ns	0,33480	0,07820	<0,001	0,82850	0,02970	<0,001
KI4	2	<0,0001	0,85910	-0,00021	0,00011	<0,1							0,03350	0,01310	<0,05	1,21890	0,06100	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,87680				-0,01240	0,00196	<0,001				0,06620	0,02110	<0,01	1,16480	0,05530	<0,001
KI4 + KI6	2	<0,0001	0,88560	0,00057	0,00013	<0,001	-0,02140	0,00269	<0,001				0,03960	0,01340	<0,01	1,19290	0,05350	<0,001
KI4 + KI6 + KI4*KI6	2	<0,0001	0,88520	0,00049	0,00022	<0,05	-0,02460	0,00679	<0,001	0,00000	0,00000	ns	0,04470	0,01850	<0,05	1,19360	0,05370	<0,001
KI4	Komb	<0,0001	0,86760	-0,00035	0,00005	<0,001							0,20800	0,03470	<0,001	0,92380	0,02750	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,87260				-0,00761	0,00087	<0,001				0,22530	0,03540	<0,001	0,89410	0,02710	<0,001
KI4 + KI6	Komb	<0,0001	0,87320	-0,00003	0,00008	ns	-0,00722	0,00137	<0,001				0,22850	0,03720	<0,001	0,89450	0,02710	<0,001
KI4 + KI6 + KI4*KI6	Komb	<0,0001	0,87220	0,00000	0,00013	ns	-0,00640	0,00382	<0,1	0,00000	0,00000	ns	0,22160	0,04720	<0,001	0,89460	0,02710	<0,001

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI5 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> S	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> S	Pr > t	a <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> S	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> S	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub> S	Pr > t
KI5	1	<0,0001	0,88390	-0,0074	0,0011	<0,001							0,3371	0,0588	<0,001	0,8280	0,0290	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,88310				-0,0060	0,0010	<0,001				0,3074	0,0528	<0,001	0,8255	0,0297	<0,001
KI5 + KI6	1	<0,0001	0,88700	-0,0047	0,0012	<0,001	-0,0039	0,0011	<0,001				0,3845	0,0668	<0,001	0,8117	0,0288	<0,001
KI5 + KI6 + KI5*KI6	1	<0,0001	0,88710	-0,0074	0,0025	<0,01	-0,0075	0,0031	<0,05	0,0001	0,0001	ns	0,4485	0,0951	<0,001	0,8098	0,0288	<0,001
KI5	2	<0,0001	0,86170	-0,0057	0,0022	<0,01							0,0377	0,0142	<0,01	1,2060	0,0603	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,87680				-0,0124	0,0020	<0,001				0,0662	0,0211	<0,01	1,1648	0,0553	<0,001
KI5 + KI6	2	<0,0001	0,87620	-0,0001	0,0020	ns	-0,0124	0,0023	<0,001				0,0664	0,0228	<0,01	1,1646	0,0563	<0,001
KI5 + KI6 + KI5*KI6	2	<0,0001	0,87620	0,0039	0,0045	ns	-0,0079	0,0054	ns	-0,0001	0,0001	ns	0,0556	0,0222	<0,05	1,1600	0,0562	<0,001
KI5	Komb	<0,0001	0,86970	-0,0072	0,0009	<0,001							0,2180	0,0355	<0,001	0,9056	0,0273	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,87260				-0,0076	0,0009	<0,001				0,2253	0,0354	<0,001	0,8941	0,0271	<0,001
KI5 + KI6	Komb	<0,0001	0,87500	-0,0037	0,0010	<0,001	-0,0056	0,0010	<0,001				0,2668	0,0426	<0,001	0,8828	0,0266	<0,001
KI5 + KI6 + KI5*KI6	Komb	<0,0001	0,87480	-0,0038	0,0022	<0,1	-0,0058	0,0028	<0,05	0,0000	0,0000	ns	0,2686	0,0522	<0,001	0,8827	0,0267	<0,001

## 6.2 Vedlegg 2. Diametertilvekst

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av overjordisk og underjordisk konkurranseindeks.

Modellen som ligger til grunn er:

$$\Delta \text{ pot} = b_1 * \text{utgangsgsdiameter} * b_2$$

$$\Delta = \Delta \text{ pot} * \exp(a_1 * \text{KIO} + a_2 * \text{KIU})$$

Modell angir hvilke konkurranseindekser som er benyttet. Best angir hvilket bestand beregningene er gjort for.  $Pr > F$  er modellens signifikansverdi.  $R^2_{\text{adj}}$  er justert multipl korrelasjonskoeffisient for modellen.  $a_1 - b_2$  er parameterestimater ( $a_1 =$  overjordisk KI,  $a_2 =$  Underjordisk KI,  $b_1$  og  $b_2 =$  potensiell vekst.).  $a_1S - b_2S$  er standardavvikene til parameterestimatenes signifikansnivå angitt fra  $<0,001$  til ns for ikke-signifikant.

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI3 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> S	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> S	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1</sub> S	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2</sub> S	Pr > t
KI3	1	<0,0001	0,91570	-0,00035	0,00008	<0,001				1,95510	0,22150	<0,001	0,26420	0,03180	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,91160				-0,00360	0,00121	<0,01	1,77430	0,20270	<0,001	0,25510	0,03340	<0,001
KI3 + KI6	1	<0,0001	0,91600	-0,00028	0,00009	<0,005	-0,00179	0,00132	ns	2,04840	0,24200	<0,001	0,25770	0,03210	<0,001
KI3	2	<0,0001	0,88700	-0,00028	0,00012	<0,05				1,32060	0,23630	<0,001	0,29400	0,03680	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,92190				-0,01570	0,00164	<0,001	2,73890	0,36140	<0,001	0,25010	0,02950	<0,001
KI3 + KI6	2	<0,0001	0,92170	0,00008	0,00009	ns	-0,01640	0,00183	<0,001	2,58080	0,38450	<0,001	0,25440	0,03020	<0,001
KI3	Komb	<0,0001	0,89910	-0,00053	0,00007	<0,001				2,04640	0,19580	<0,001	0,27540	0,02470	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,90120				-0,00853	0,00103	<0,001	2,01810	0,18380	<0,001	0,26160	0,02490	<0,001
KI3 + KI6	Komb	<0,0001	0,90540	-0,00028	0,00007	<0,001	-0,00616	0,00118	<0,001	2,32820	0,22110	<0,001	0,25810	0,02420	<0,001

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI4 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1,S</sub>	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2,S</sub>	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1,S</sub>	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2,S</sub>	Pr > t
KI4	1	<0,0001	0,91150	-0,00024	0,00008	<0,01				1,93390	0,26060	<0,001	0,26730	0,03300	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,91160				-0,00360	0,00121	<0,01	1,77430	0,20270	<0,001	0,25510	0,03340	<0,001
KI4 + KI6	1	<0,0001	0,91170	-0,00013	0,00012	ns	-0,00213	0,00181	ns	1,91620	0,25940	<0,001	0,25980	0,03350	<0,001
KI4	2	<0,0001	0,89020	-0,00036	0,00011	<0,005				1,75480	0,37540	<0,001	0,28410	0,03650	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,92190				-0,01570	0,00164	<0,001	2,73890	0,36140	<0,001	0,25010	0,02950	<0,001
KI4 + KI6	2	<0,0001	0,92740	0,00041	0,00011	<0,001	-0,02100	0,00210	<0,001	1,88710	0,30950	<0,001	0,27010	0,02890	<0,001
KI4	Komb	<0,0001	0,89910	-0,00043	0,00006	<0,001				2,25510	0,24050	<0,001	0,27470	0,02520	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,90120				-0,00853	0,00103	<0,001	2,01810	0,18380	<0,001	0,26160	0,02490	<0,001
KI4 + KI6	Komb	<0,0001	0,90210	-0,00018	0,00009	<0,05	-0,00579	0,00161	<0,001	2,23610	0,23480	<0,001	0,26290	0,02480	<0,001

Regresjonsresultater ved ulike modellkombinasjoner av KI5 og KI6.

Modell	Best	Pr > F	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>1,S</sub>	Pr > t	a <sub>2</sub>	a <sub>2,S</sub>	Pr > t	b <sub>1</sub>	b <sub>1,S</sub>	Pr > t	b <sub>2</sub>	b <sub>2,S</sub>	Pr > t
KI5	1	<0,0001	0,91670	-0,00592	0,00131	<0,001				2,00400	0,22800	<0,001	0,26360	0,03160	<0,001
KI6	1	<0,0001	0,91160				-0,00360	0,00121	<0,01	1,77430	0,20270	<0,001	0,25510	0,03340	<0,001
KI5 + KI6	1	<0,0001	0,91680	-0,00508	0,00148	<0,001	-0,00147	0,00134	ns	2,08200	0,24630	<0,001	0,25830	0,03190	<0,001
KI5	2	<0,0001	0,88740	-0,00474	0,00199	<0,05				1,35510	0,24480	<0,001	0,29300	0,03670	<0,001
KI6	2	<0,0001	0,92190				-0,01570	0,00164	<0,001	2,73890	0,36140	<0,001	0,25010	0,02950	<0,001
KI5 + KI6	2	<0,0001	0,92170	0,00129	0,00155	ns	-0,01640	0,00185	<0,001	2,58060	0,38870	<0,001	0,25430	0,03020	<0,001
KI5	Komb	<0,0001	0,90040	-0,00862	0,00107	<0,001				2,08230	0,19830	<0,001	0,27480	0,02450	<0,001
KI6	Komb	<0,0001	0,90120				-0,00853	0,00103	<0,001	2,01810	0,18380	<0,001	0,26160	0,02490	<0,001
KI5 + KI6	Komb	<0,0001	0,90600	-0,00495	0,00118	<0,001	-0,00578	0,00119	<0,001	2,36030	0,22440	<0,001	0,25810	0,02410	<0,001