

KVISTEGENSKAPER I FURU (PINUS SYLVESTRIS (L.)) FRA
ULIKE TYNNINGSREGIMER

KNOT PROPERTIES IN SCOTS PINE (PINUS SYLVESTRIS (L.))
FROM DIFFERENT THINNINGREGIMES

TOR-ÅSMUND HOVDA & EIRIK ANDERS NYGAARD

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 + 30 STP. 2007



Forord

Denne mastergradsoppgaven er skrevet ved Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for naturforvaltning (INA). Oppgaven er en del av prosjektet ”*Effekter av tynningsregime på virkesegenskaper i furu (Pinus sylvestris)*”, og ment som avslutningen av en femårig høgskole- og universitetsutdanning.

Vi ønsket med denne oppgaven, å bruke en del av fagkunnskapen vi har tilegnet oss i studietiden og samtidig som vi ville øke vår kompetanse. Etter å ha kommet i kontakt med Førsteamanuensis Olav A. Høibø ved INA, falt valget på en studie av virkeskvalitet i furu ut fra forskjellige tynningsregimer. Olav Høibø sammen med Førsteamanuensis Geir I. Vestøl ved INA har veiledet oss gjennom arbeidet med mastergradsoppgaven. Vi ønsker med dette å rette de en stor takk for nyttige innspill, gode diskusjoner og god hjelp under bearbeiding av datamaterialet. Videre ønsker vi å takke Ledende forskningstekniker Bjørn Slette for praktisk hjelp under laboratoriarbeidet og Målfrid Toeneiet ved Norsk institutt for skog og landskap for bistand under årringanalysene. Per Victor Nygaard for engelskferdigheter og Anna T. T. Hovda for korrekturlesing.

Vi vil også takke Utviklingsfondet for skogbruket for den støtte de ga til prosjektet.

I tillegg retter vi en takk til alle andre som har bidratt til gjennomføring av oppgaven.

Ås den 15. mai 2007

Tor-Åsmund Hovda

Eirik Anders Nygaard

Sammendrag

Formålet med dette studie har vært å: (1) Utvikle modeller for kvistegenskaper i forhold til ulike tynningsregimer og konkurranse på enkelttrær innen bestand. (2) Vurdere effekten av de viktigste forklaringsvariablene, og hvordan de påvirker kvistegenskaper.

Grunnlaget for datamaterialet er hentet fra forsøksbestand i Sverige, fra Djursnäs i sør til Pajala i nord. For disse forsøksområdene foreligger det i dag detaljerte opplysninger om behandlingshistorikken. Data er registrert før og etter inngrep. Alle bestandene har vært behandlet med høy- eller lavtynning. Totalt 49 trær fra 16 bestand er med i kvistanalysene. Trærne ble fordelt i gruppene: Dominante, medherskende og undertrykte på ulike boniteter. I tillegg til rang ble det registrert avstand til, og diameter på konkurrerende trær. Ved gitte relative stammehøyder er det tatt ut kvistkranser for videre analyser. Det ble også tatt ut en kvistfri skive i brysthøyde til årringbreddemålinger. Kvistkransene ble splittet langs marginen i kvister $> 7\text{mm}$, for registrering av kvistdiameter (KD), tørrkvistgrense og kvistfritt virke.

Til å forklare kvistegenskapene er det modellert KD og friskkvistlengde (FL). Modellene er laget ved regresjonsanalyser, og bygger på de beste variablene på tre- og bestandsnivå. Begge modellene tar utgangspunkt i en andregradsfunksjon. Modellen for KD oppnådde en justert korrelasjonskoeffisient (R^2) = 65 %, og FL = 73 %.

Variablene kranshøyde (KH) og diameter i brysthøyde (DBH), er av de beste variablene til å redusere residualspredningen i modellene for KD og FL. DBH er kompleks og har mange ”undervariable”, derfor den høye R^2 . I modellen for FL har i tillegg breddegrad en meget stor betydning for residualspredningen, noe som tyder på at det er store forskjeller i vekstutviklingen fra nord til sør. Det er trærne i nord som utvikler de lengste friskkvistene. Ved behandling gir høytynning lavere KD enn lavtynning.

Furu er et lyskrevende treslag. Etableringen og utviklingen av greiner styres mye av lystilgangen. Lystilgangen styres av mange variabler: Konkurranse, breddegrad, rang og tetthet. Genetikken kan også påvirke hvordan furua benytter seg av lyset. Disse variablene er av stor interesse, siden kvist er vanligste nedklassifiseringsårsak på tømmer og trelast. Ved

nordligere breddegrader utvikles lengre friskkvist, og dermed blir friskkvistsylinderen større. Friskkvist verdsettes stort sett mer enn tørrkvist i trelast.

Summary

The purpose of this thesis has been to (1) develop models for knot properties in relation to different thinning regimes and competition among the individual trees in a stand. (2) To evaluate the effect of the most important independent variables and how they influence the knot properties.

The empiric material has been collected from test areas in Sweden, comprising areas from Djursnas in the south to Pajala in the north. All these test areas have a detailed history of treatment with data prior to and after the treatment. All the stands have been treated with either thinning from above or below. A total of 49 trees from 16 stands are included in the knot analysis. The tree samples were sampled from the different groups: Dominant, intermediate and suppressed trees on different site indexes. In addition to rank, the distance to and the diameter of the competing trees was registered. At a given relative whorl height a sample of the knot whorl was collected for further analysis. A sample of a knot free slice at breast height was also sampled to be used in ring width analysis. The knot whorls were split along the pit in the knots > 7mm for registrations of the knot diameter (KD), sound knot border, and clear wood.

To explain the knot properties, models for KD and sound knot length (FL) were made. The models were developed by regression analysis. They were based on the best variables on tree- and site level. Both models have their basis in a second-degree function. The KD model achieved an adjusted R^2 of 65 %, and the FL model achieved an adjusted R^2 of 73 %.

Whorl height (KH) and diameter at breast height (DBH) were two of the best variables to reduce the residual variance in the models for KD and FL. DBH is complex and comprises a number of sub variables, which explain the high R^2 . The latitude had in the model for FL also a great impact on the residual variance. This interprets growth variation from south to north. The trees in the north develop the longest sound knots. With different treatments thinning from above gives a smaller KD then thinning from below.

Scots pine is a tree with high demands on light. Establishing and development of branches is very dependant on available daylight. The availability of daylight is dependant on many factors like, competition, latitude, rank and stand density. The genetic origin may also have an

influence on how the spruce utilizes the daylight. These variables are of great interest since the knots are the most common reason for degrading timber and solid wood products. The higher the latitude the more the sound knot develops and the sound knot cylinder increases. Sound knot is normally more valued in solid wood products than dead knot.

Innholdsfortegnelse

1 INNLEDNING	- 1 -
1.1 Historie	- 1 -
1.2 Virkeskvalitet.....	- 2 -
1.3 Modellering	- 3 -
1.4 Formålet med oppgaven	- 4 -
2 MATERIALE OG METODER	- 5 -
2.1 Forsøksområder	- 5 -
2.2 Feltarbeid	- 6 -
2.2.1 Utvalg	- 6 -
2.2.2 Treregistreringer	- 7 -
2.3 Laboratoriearbeid	- 9 -
2.3.1 Kvist- og kransanalyser	- 9 -
2.3.2 Årringbreddemålinger	- 10 -
2.4 Beregninger og statistikk	- 11 -
2.4.1 Konkurransoeffekt	- 11 -
2.4.2 Statistikk.....	- 12 -
2.5 Symboler	- 13 -
3 RESULTATER	- 14 -
3.1 Kvistdiameter	- 14 -
3.1.1 Modellering av kvistdiameter – beste modell	- 14 -
3.1.2 Modelltilpassning	- 17 -
3.2 Friskkvistlengde	- 18 -
3.2.1 Modellering av friskkvistlengde – beste modell	- 19 -
3.2.2 Modelltilpassning	- 21 -

4 DISKUSJON	- 23 -
4.1 Materialet	- 23 -
4.2 Kvistdiameter	- 24 -
4.2.1 Forklaringsvariable for Modell 5	- 24 -
4.2.2 Modell 5	- 25 -
4.3 Friskkvistlengde	- 26 -
4.3.1 Forklaringsvariable for Modell 10	- 26 -
4.3.2 Modell 10	- 28 -
4.4 Sammenfattende diskusjon om virkeskvalitet	- 29 -
5 Konklusjon	- 31 -
6 Litteratur	- 32 -

1 INNLEDNING

1.1 Historie

Begrepet tynning startet antagelig i Tyskland, hvor man tidlig oppdaget hvor viktig det var for volumproduksjonen av gran (*Picea abies* (L.) Karst.) og bøk (*Fagus silvatica* (L.)) Det ble naturligvis startet en debatt om hvordan dette skulle utføres. Wilhelm Pfeil (1793-1859) pekte på den store betydningen av trærnes fordeling, og at kronene alltid måtte være i berøring med hverandre, ved såkalt lavtynning der man bare satset på de største trærne. Professor Borggreve (1836-1914), reagerte på lavtynningsprinsippet. Han mente høytynning av store trær, fra 50 års alder som undertrykte mellomstikket, var mest naturlige for å oppnå store dimensjoner og gi en lengre omløpstid med flere store trær. I 1896 lanserte tyskeren Heck fri tynning hvor hovedstammene skulle ha fri bane og stå mest mulig jevnt fordelt, samtidig som underbestandet ble spart. Disse tre vitenskapsmennene hadde da vært gjennom høy, lav og fri tynning som det stort sett er diskusjoner rundt i dag.

Norge har i stor grad vært preget av standardene i Tyskland og andre steder i Europa. Professor Eide (1890-1966) ved det Norske skogforsøksvesen tok opp begrepet fri tynning. Han understreket betydningen av en jevn fordeling mellom de beste trærne. Det var også viktig å fjerne underbestandet, for å slippe mest mulig sol og varme ned til bakken. En slik tynning ville vel i dag betegnes som en lavtynning. Det var forøvrig ikke før vi startet med bestandsskogbruket, rundt 1950-60 tallet, at tynning ble et aktuelt tema. Diskusjonen som oppstod handlet i stor grad om hvordan man kunne øke tilveksten, der virkeskvalitet ikke var et tema. Fokuset på store volum hang antagelig igjen fra tiden med plukkhogst (Brække *et al.* 2002). I senere tid har fokuset fortsatt vært på volumproduksjon, men virkeskvaliteten har fått mer betydning. Det finnes undersøkelser om tynninger og virkeskvalitet før andre verdenskrig, men de fleste undersøkelsene er utført etter 1980. Frem til i dag er dette temaet blitt stadig viktigere, og er i dag et prioritert forskningsområde, både i Norge og andre land (Vadla 2005).

1.2 Virkeskvalitet

Virkeskvalitet kan defineres som ”*summen av alle egenskaper ved virke som påvirker verdien i foredlingen og brukbarheten av sluttproduktet*” (Lexerød 2001). Virkesegenskaper som stokkdiameter, stokkens retthet, kvistmengde, kvistvinkel, kvistdiameter, årringbredde, ungdomsved og densitet er viktige. Kvalitet og volum er derfor det som styrer det økonomiske resultatet fra hogst av furu. Disse to styres til en viss grad av hverandre. Høy volumtilvekst på enkelttreet kan gi dårligere kvalitet i form av lavere densitet samt større og flere kvist. Kvistens form, størrelse og andel frisk/død kvist, er det som nesten alene avgjør kvaliteten på trelasten (Anonym 1994). Det påvirker også produksjonsprosessen for massevirke, både kjemisk og mekanisk (Eriksson & Karlsson 1997).

For å utnytte potensialet for et bestand av furu, må man forsøke å styre de variablene som påvirker etableringen og utviklingen av greinene. Bonitet, temperatur, genetiske egenskaper, stedege egenskaper, variasjoner på stedet/mellom trær, samt bestandstetthet er variable som vil spille inn på kvistegenskapene (Moberg 1999). Boniteten kan manipuleres ved gjødsling, og genetiske effekter kan manipuleres ved planting, men den mest brukte metoden for å påvirke etableringen og utviklingen av greiner er gjennom bestandstettheten. Den kan påvirkes gjennom ungskogpleie og tynninger. Furu er i større grad enn gran avhengig av lys. Bestandstettheten styrer lystilgangen, og dermed også utviklingen av kvist (Høibø 1991b). På den ene siden vil man for det enkelte tre ha en stor krone med grov kvist som gir en god volumtilvekst for stammen. På den andre siden vil man ha en kvistfri stamme som har høy virkeskvalitet. Siden den/de nederste stokken(e), ved anvendelse av den nordiske apteringssystemet (CTL-metoden), er de mest volumrike er dette også de mest verdifulle. Det er derfor ønskelig med lite kvist i disse stokkene. I stokkene lenger opp må man i større grad godta at man får mer kvist, med tanke på at dette styrer diametertilveksten for treet. Vi får altså vertikale forskjeller i stammen. Det er disse forskjellene som ligger til grunn for en optimal aptering, og hvordan stokken skjæres på sagbruket. For best kvalitet er det ønskelig å gjøre et størst mulig sentrumsuttak i friskkvistsylinderen og kvistfrie sidebord i rotstokkene (Berdal & Eikrem 2001).

Friskkvistsylinderen og kvistdiameteren i rotstokkene viser seg i stor grad å være styrt av påvirkninger skjedd i ungdomsfasen (0-30år). Hvis en grein dør og brytes av, stopper veksten av kvistdiameteren, og kvisten vil overvokses slik at kvistfritt virke dannes

(Kollmann & Côrè 1968). Björklund (1997) delte furustammen i fire kvistsoner og kalte de fra bunnen: Etablering, konstant vekst, stagnering og krone. I etableringen får vi de første kvistene, og treet bygger seg opp for å gå inn i en periode med mer konstant vekst. Her vil treet konkurrere med trær rundt. Kvister i denne perioden vil bli større med hver nye krans, og toppskuddlengden blir ofte lang. Stagneringssonen dannes når høydeveksten gir seg. Treet danner nå ofte de største kvistene, fordi de har muligheten til å leve lenger. Når treet blir virkelig gammelt flater kvistdiameteren ut i øvre del av trekrona, mens andelen friskkvist stiger sakte.

1.3 Modellering

Modelleringen av KD og FL har mange ulike tilnærminger. De to komponentene har også en meget sterk korrelasjon (Høibø *et al.* 1997). Data fra treet kan samples ved å gjøre målinger på treet uten å felle det. Da får vi variabler som DBH, ulike kronemål osv. Felles treet kan KD registreres. For å sikre seg data om FL har man tre valg: I form av røntgen (CT-skanning), skrelling eller dissekering av hver kvist manuelt. Skrelling og dissekering er to destruktive metoder. Oja (1997) har testet alle disse metodene. CT-scanning er mye raskere, men man får ikke registrert årringene. Dissekering tar lengre tid, men man kan måle årringene. Disseksjon har vist seg å være mer nøyaktig enn CT-skanning, men om man ønsker ett større materiale på kortere tid må det sies at skanning vil lønne seg.

Årringmålinger kan være en viktig faktor når man har data om behandling. Pape (1999) undersøkte hvordan høy- og lavtynning påvirket årringveksten og densiteten hos gran. Han fant ved hjelp av regresjon at høytytning resulterte i mindre årringbredder og høyere densitet.

Det har blitt utviklet flere modeller for KD og FL som er basert på dissekering av kvistkransen hos gran (Høibø *et al.* 1997, Vestøl & Colin 1998, Øyen & Høibø 1999, Vestøl *et al.* 1999, Colin & Houllier 1991). Colin & Houllier lagde en segmentert modell der to andregradsfunksjoner møttes i toppen (største KD). Øyen & Høibø og Vestøl & Colin brukte multiple regresjon. Björklund (1997) og Moberg (1999) har gjort tilsvarende modeller for furu, men ved bruk av CT-Skanning. Moberg benyttet en segmentert modell for KD. Modellen har tre del-funksjoner, en hyperbel og to andregradsfunksjoner. Han oppnådde $R^2 = 59 \%$ og $RMSE = 5.1\text{mm}$ med utgangspunkt i et materiale på 193 trær fra bestand eldre enn 70 år. Björklund mislyktes statistisk i sitt forsøk på å modellere KD og KD_{sum} ved hjelp

av en fjerdegrads funksjon. Alle modeller som her er nevnt, bygger på de vertikale forskjellene i stammen. KH inngår da selvsagt i alle modellene.

1.4 Formålet med oppgaven

Formålet med denne studien er å: (1) Utvikle modeller for kvistegenskaper i forhold til tynningsregimer og konkurranse på enkelttrær innen bestand. (2) Vurdere effekten av de viktigste forklaringsvariablene, og hvordan de påvirker kviststruktur, KD og FL.

2 MATERIALE OG METODER

2.1 Forsøksområder

For å tilegne seg gode nok data til å gjennomføre analyser om tynningsregimer, var det nødvendig å skape et datasett basert på bestand som er tett oppfulgt med registreringer, samtidig som de er behandlet. Slike forsøksserier og felter med høy- og lavtynnede bestand av furu finnes ved flere lokaliteter i Sverige, tilhørende Sveriges Landbruksuniversitet (SLU).

Forsøksområdene er spredt fra Djursnäs i sør til Pajala i nord (Bilde 1). Grunnet nøye oppfølging av behandlinger i disse forsøksseriene, foreligger det i dag detaljerte opplysninger om behandlingshistorikken med data før og etter inngrep.



Bilde 1: Forsøksfeltene sin beliggenhet (google earth).

2.2 Feltarbeid

2.2.1 Utvalg

Materialet ble samlet fra høytynnings- og lavtynningsbestand fra ulike breddegrader, høyder over havet (hoh) og boniteter (H100) (Tabell 1).

Tabell 1: Spesifikasjoner for forsøksfeltene.

Stedsnavn	Bestands alder	Bonitet H100	Behandling	Breddegrad/hoh
Pajala	79	18	lavtynning	67° / 240m
Pajala	79	18	høytynning	67° / 240m
Jokkmokk	57	24	lavtynning	66° / 180m
Jokkmokk	57	24	høytynning	66° / 180m
Åsele	90	19	lavtynning	64° / 330m
Åsele	90	19	høytynning	64° / 330m
Vibeck	77	26	lavtynning	64° / 200m
Vibeck	73	24	høytynning	64° / 200m
Björna	66	25	lavtynning	63° / 200m
Björna	66	25	høytynning	63° / 200m
Hamra	63	31	lavtynning	60° / 180m
Hamra	63	31	høytynning	60° / 180m
Degerfors	81	24	lavtynning	59° / 80m
Degerfors	81	24	høytynning	59° / 80m
Djursnäs	84	22	lavtynning	59° / 80m
Djursnäs	80	22	høytynning	59° / 80m

Når det gjelder valg av bestand, var det ønskelig å sample trær fra bestand som var kommet lengst mulig i utviklingen mot hogstmodenhet. Trærne i hvert enkelt bestand ble sortert etter DBH. Deretter ble trærne fordelt på tre grupper (dominante, medherskende og undertrykte), med like mange trær i hver enkelt gruppe. Et tilfeldig tre fra hver av disse gruppene ble trukket ut fra samme bestand og dannet samplet fra hvert plot. Det ble plukket ut et ekstra tre fra Hamra forsøksområde grunnet råte. Totalt 49 trær ble samlet, og utvalget ble gjort som vist i Tabell 2.

Tabell 2: Viser hvordan plotutvalgene ble gjort på de ulike breddegradene. Et plot består av et dominant, medherskende og undertrykt tre.

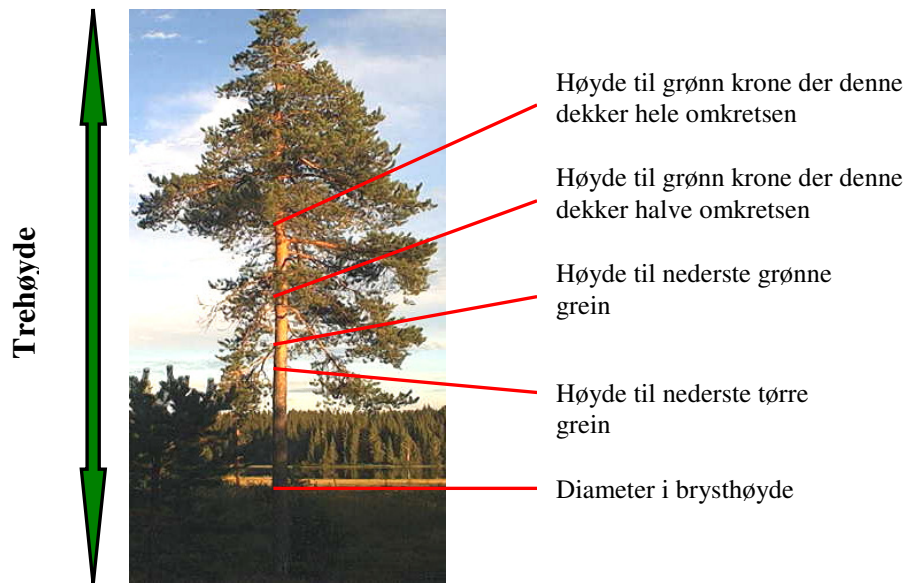
Nord Sverige	Midt Sverige	Sør Sverige
➤ plot fra lavtynning på middels bonitet eller noe bedre	➤ plot fra lavtynning på høy bonitet	➤ plot fra lavtynning på høy bonitet
➤ plot fra høytynning på middels bonitet eller noe bedre	➤ plot fra høytynning på høy bonitet	➤ plot fra høytynning på høy bonitet
➤ plot fra lavtynning på lav bonitet	➤ plot fra lavtynning på middels bonitet	➤ plot fra lavtynning på middels bonitet
➤ plot fra høytynning på lav bonitet	➤ plot fra høytynning på middels bonitet	➤ plot fra høytynning på middels bonitet
	➤ plot fra lavtynning på lav bonitet	➤ plot fra lavtynning på lav bonitet
	➤ plot med høytynning på lav bonitet	➤ plot med høytynning på lav bonitet

2.2.2 Treregristreringer

Etter felling av de utvalgte trærne ble nordretningen merket langs hele stammen for senere å finne den igjen på kransskivene i forbindelse med kvistmålingene. Følgende tredata ble deretter registrert (Figur 1):

- DBH.
- Trehøyde
- Høyde fra rotavskjær til grønn krone der denne dekker hele omkretsen (360^0)
- Høyde fra rotavskjær til grønn krone der denne dekker halve omkretsen (180^0)
- Høyde fra rotavskjær til nederste grønne grein
- Høyde fra rotavskjær til nederste tørre grein

Alle høydemål ble målt med målebånd.



Figur 1: Viser de forskjellige treregistreringene som diameter i brysthøyde, kronehøyder og trehøyde.

Kvistkranser ble tatt ut i en kubbe høy nok til å få med alle kvistene i kransen fra marg til bark, for senere bruk under kvist- og årringbreddemålinger. Kransene ble tatt ut nær de gitte kranshøydene: 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 % og 90 % stammehøyde. Kvistkransene ble etter utskjæring merket med trenummer og høydeprosent.

For å kunne se hvordan konkurransen mellom trærne påvirker kvistsettingen, ble det gjort en del registreringer av objekttrærne. Objekttrærne er skjønnsmessig valgt ut i den grad man skulle anta at de er konkurrerende mot subjektreet. Objekttrær er målt opp til 14 meter fra subjektreet. Følgende registreringer ble gjort;

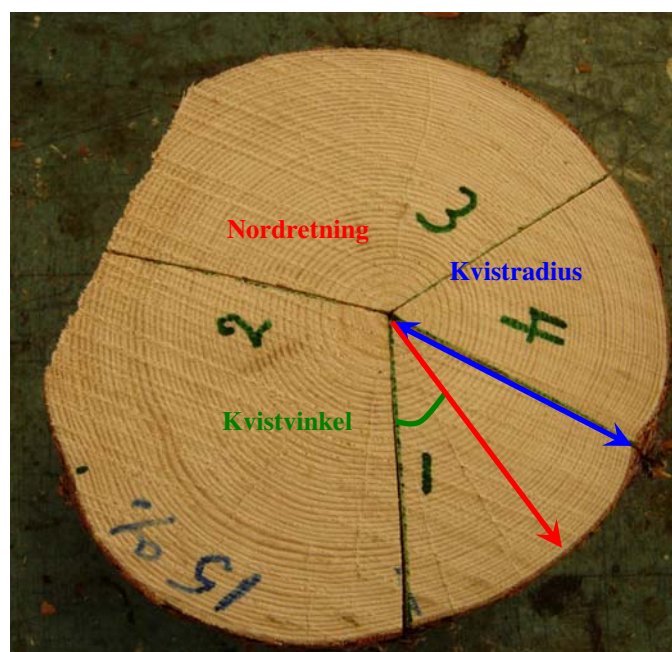
- DBH på subjekttrærne
- Retning til objekttrærne i forhold til subjektreet (360° vinkel hvor nordretningen er 0°)
- Avstand fra subjektreet til objekttrærne
- DBH på objekttrærne

2.3 Laboratoriearbeid

2.3.1 Kvist- og kransanalyser

Av hver kvistkrans tatt ut i brysthøyde, ble det kuttet av en kvistfri skive med tykkelse 3 – 5cm. Dette ble gjort enten på oversiden eller undersiden av kvistkransen, avhengig av hvor det kvistfrie materialet kunne hentes ut. Det ble registrert om skiven ble tatt ut over eller under kvistkransen. Disse skivene ble brukt til årringbreddemålinger. Videre ble følgende registreringer gjort (Bilde 2):

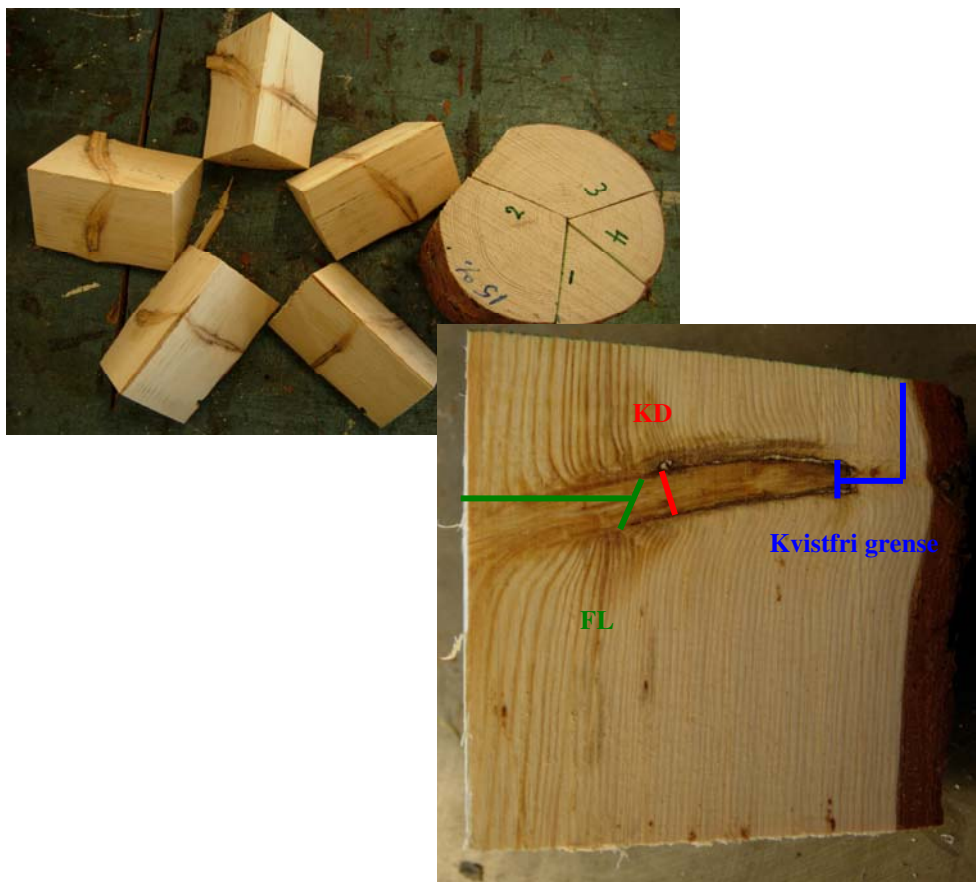
- I kvistkransen ble hver enkelt kvist merket og nummerert fra 1 og oppover med utgangspunkt i nordretningen
- Kvistvinkelen ble målt ved hjelp av en 360° gradskive, hvor nordretningen var utgangspunktet med 0°
- Radiusen til stammen over hver kvist ble målt fra marg til kambium



Bilde 2: Måling av kvistvinkel og kvistlengde (Foto: Eirik A. Nygaard).

- Hver kvist ble oppdelt så nær kvistmargen som mulig, for å registrere kvistfri grense, FL, antall år friskkvist, antall år tørrkvist og KD (Bilde 3)
- All kvist med diameter < 7mm ble ikke analysert. Skader i form av gankvist eller lignende ble bemerket

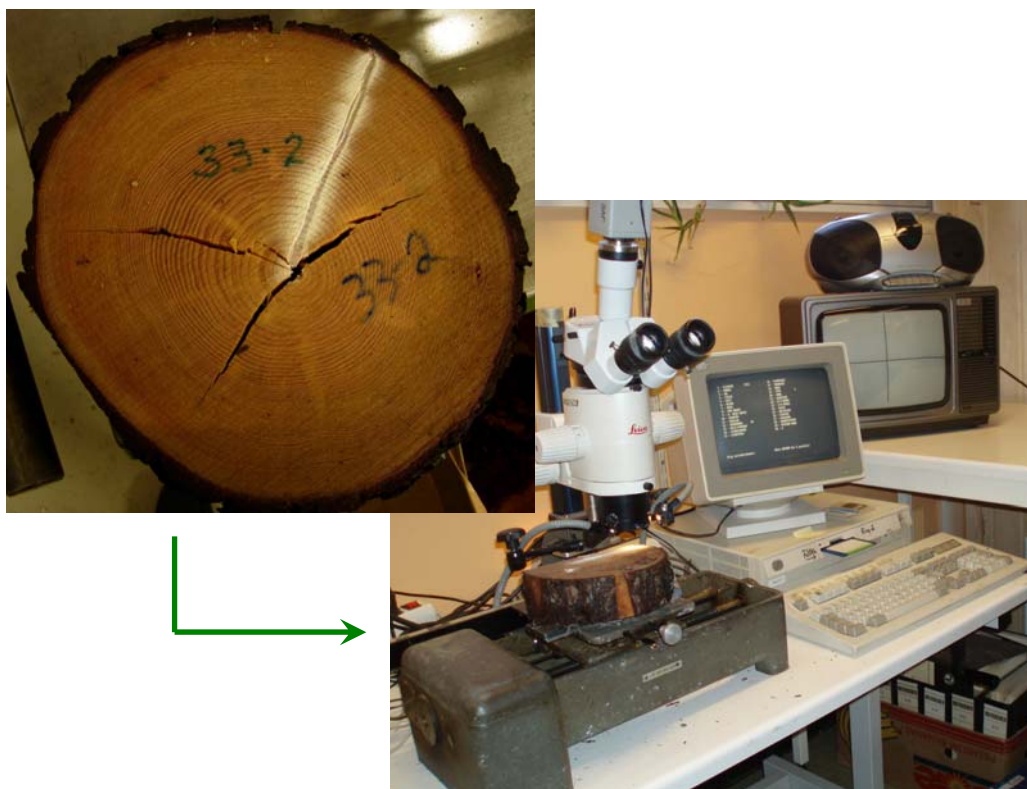
Alle målinger på kvist ble utført ved bruk av digitalt skyvelær.



Bilde 3: Oppdelingen av en kvistkrans og måling av FL, KD og kvistfri grense (Foto: Eirik A. Nygaard).

2.3.2 Årringbreddemålinger

Årringbreddemålingene ble utført på de kvistfrie skivene fra kvistkransene i brysthøyde. Før dette måtte skivene fuktes opp i et forsøk på å gjenopprette de opprinnelige årringbreddene etter tørking. Prepareringen ble gjennomført ved å skjære ut et klart snitt på tvers av årringene ved hjelp av en mikrotomkniv. Snittet ble skåret der avstanden fra margen til kambium på skiven hadde sitt gjennomsnitt. For å øke kontrasten før årringmålingen, ble det påført et tynt lag med utvannet maling. Avstanden mellom årringene ble registrert ved hjelp av en årringmålemaskin (Bilde 4). Denne analysen gjorde det mulig å se de årlige forandringene i årringveksten samt og datere brysthøydealderen på treet.



Bilde 4: Prepareringen av ei kvistfri skive og maskinen som ble brukt under måling av årringbredden
(Foto: Eirik A Nygaard & Tor Åsmund Hovda).

2.4 Beregninger og statistikk

2.4.1 Konkurranseseffekt

For å kunne påvise eventuelle sammenhenger mellom tømmerkvalitet og den konkurransen et tre utsettes for fra nabotrær, må den samlede konkurransestyrken fra influerende nabotrær estimeres. Dette ble gjort ved å beregne en konkurranseindeks. Flere har funnet ut at konkurranseindekser som inkluderer trekronens egenskaper gir bedre forklaringsgrad på veksten enn rene størrelsesforhold - avstandsindekser (Daniels *et al.* 1986, Biging & Dobbertin 1992, 1995).

Grunnet få samlede trær og lite registreringer av trekronene kunne vi ikke benytte oss av disse konkurranseindeksene. Vi valgte å benytte en konkurransemodell utviklet av Heygis (1974), hvor konkurranseindeksen ble beregnet ut fra diameter til subjekt- og objekttrær, og den innbyrdes avstanden mellom trærne. Subjekttrær betegner det tre som studeres, mens alle trær som har konkurranseeffekt på subjektreet betegnes som objekttrær. Modellen forutsetter på denne formen en tosidig konkurranse. Heygi definerte objekttrærne ved å benytte en sirkel

med fast radius og sentrum i subjektreet. Alle trær innenfor denne sirkelen ble definert som objekttrær. Sirkelens radius var i utgangspunktet 3.05m, men Heygi gjorde imidlertid oppmerksom på at denne sirkelen burde velges med hensyn til lokale forhold. I vårt tilfelle er det foretatt en skjønnsmessig vurdering om hvorvidt et tre er i konkurranse. Heygis konkurranseindeks er gitt ved:

$$C_{li} = \sum_{j=1}^n (D_j / D_i) / L_{ij}$$

C_{li} = Heygis K for subjekttré i

D_j = DBH til objekttré j

D_i = DBH til subjekttré i

L_{ij} = avstand mellom subjekttré i og konkurrent j

n = antall objekttré

2.4.2 Statistikk

De statistiske analysene ble i all hovedsak utført ved hjelp av statistikkprogrammet JMP 6.0 (SAS Institute Inc.). Microsoft Excel ble benyttet der beregninger var enklere å gjennomføre i et regneark. For å skape modeller for kvistegenskaper ble en "tretrinns metode" brukt:

1. Valg av funksjonstype, som gir best mulig tilpassning av det enkelte tre. Følgende funksjoner ble prøvet: Logaritmisk funksjon (Ln), hyperbel (1/X), og andregradsfunksjon (X^2).
2. Parameterestimaterne til de valgte funksjonene ble deretter modellert med ulike tre og bestandsvariable.
3. Deretter ble det laget mer komplette funksjoner (funksjonene fra trinn 1), hvor signifikante tre og bestandsvariablene fra trinn 2 ble brukt. Grensen $P < 0.05$ ble brukt.

R^2 og Root Mean Square Error (RMSE) ble også brukt for å vurdere betydningen av de ulike forklaringsvariablene i modellene.

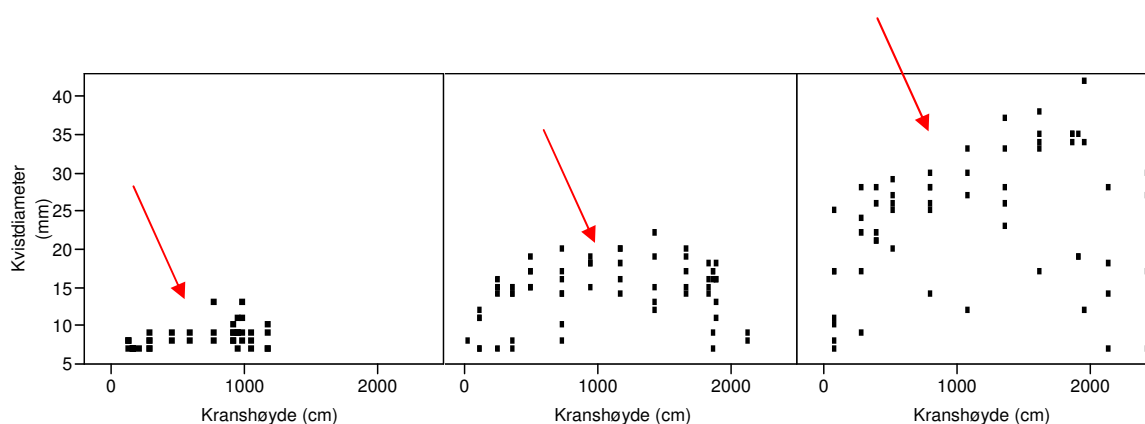
2.5 Symboler

DBH	Trestammens kryssklavede diameter målt ved høyde = 1.3m.
FL	Friskkvistlengde, gjennomsnittlig friskkvistlengde for en krans (mm)
KD	Kvistdiameter, tykkeste kvisten i en krans (mm)
KD _{sum}	Summen av alle kvistdiameter i en krans (mm)
KH	Kranshøyde, høyde fra stubbeavskjær til kvistkrans (cm)
ÅB _{siste20}	Gjennomsnittlig årringbredde for de siste 20 årene av treets liv (mm)
ÅB ₁₁₋₂₀	Gjennomsnittlig årringbredde i alderen fra 11 til 20 år (mm)
ÅB ₂₁₋₃₀	Gjennomsnittlig årringbredde i alderen fra 21 til 30 år (mm)
H100	Bestandets overhøyde ved alder 100 år (m)

3 RESULTATER

3.1 Kvistdiameter

Figur 2 viser 3 trær med ulik kvistutvikling. KD øker imidlertid oppover i treet før den avtar for alle trærne. Vi finner de største kvistene som regel i den nedre delen av krona. Følger vi kranshøydene oppover, kan vi se at KD har en karakteristisk knekk før den når maksimal størrelse (se pil).



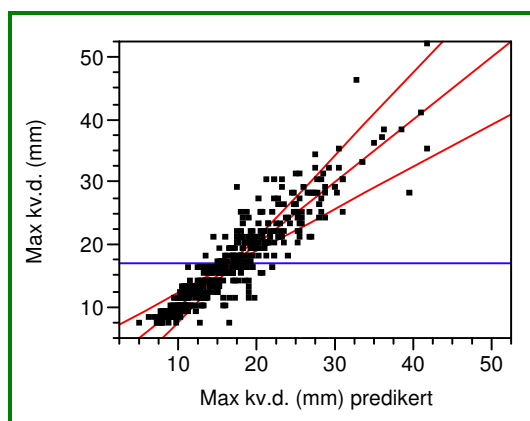
Figur 2: Kvistdiameter fordelt på de utvalgte kransene.

3.1.1 Modellering av kvistdiameter – beste modell

Figur 3 viser prediksjonsplottet for en individuell tilpasset andregradsfunksjon med utgangspunkt i KH, der vi oppnådde en $R^2 = 78\%$ og $RMSE = 3.32\text{mm}$.

Andregradsfunksjonen tilpasset seg materialet best av de testede funksjonene. Ved økende KD ser vi at vi får større residual spredning. Dette gjør at spredningen blir noe trompetformet (Figur 3). Det er lett å se av Figur 2 at spredningen øker oppover i treet, fordi KD viser stor variasjon i de høyeste kransene. De videre analysene ble på grunnlag av dette gjort med en avkorting av stammen. Kranser over 180° kronedekning er derfor ikke tatt med. En annen årsak til at det er fornuftig å ikke ta med alle kvistene i treet, er at kvistene ikke er ferdig utviklet den øvre delen og at forsøksbestandene ikke var nådd hogstmodenhetsalder.

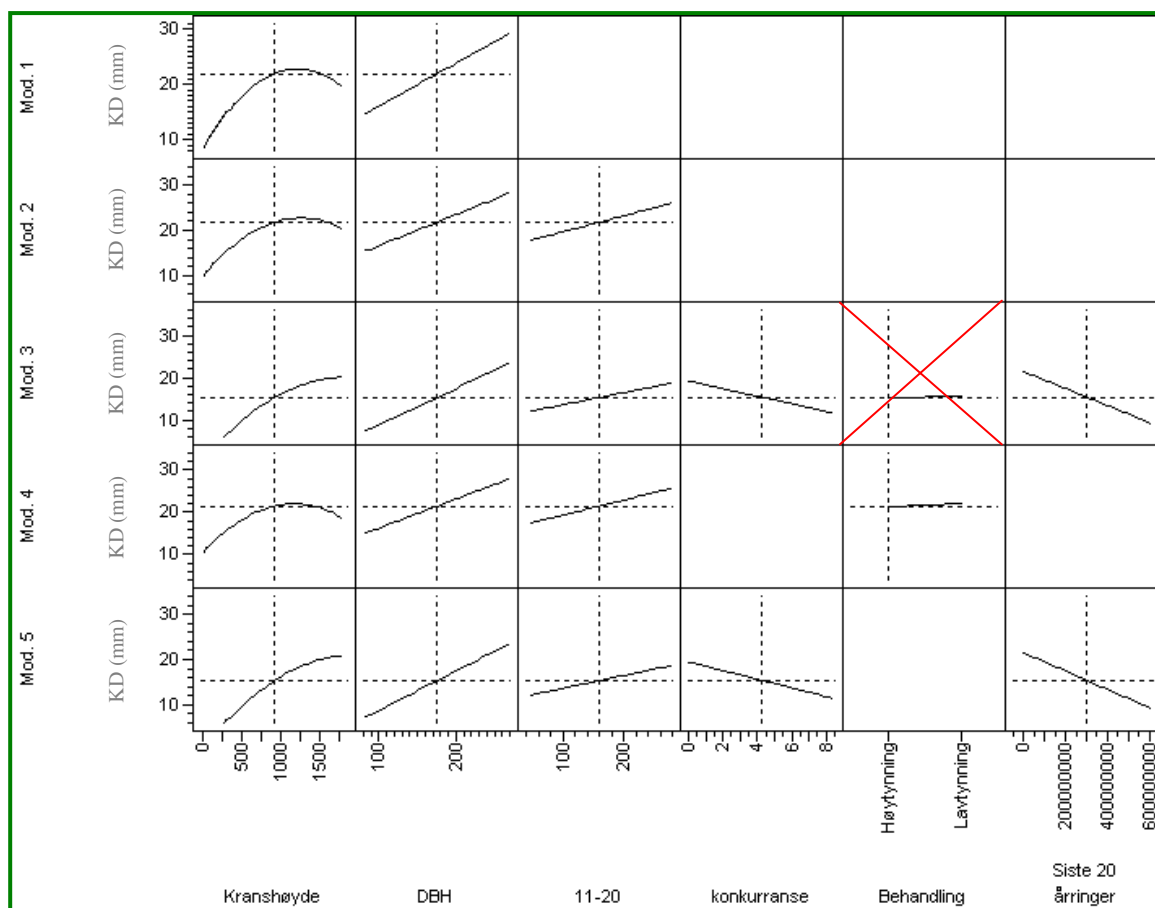
Andregradsfunksjonen bestod av tre ledd: $KD = a_0 + a_1 \times KH + a_2 \times KH^2$. Hvert ledd har et estimat som vi har kalt a_0 , a_1 , og a_2 . a_0 beskriver interseptet og bestemmer hvilket nivå kurven legger seg på. a_1 beskriver stigningen på kurven og tilhører førstegradsleddet, mens a_2 beskriver spissingen til kurven og tilhører andregradsleddet.



Figur 3: Prediksjonsplott for en individuell andregradsfunksjon (KD).

Profildiagrammet (Figur 4, Tabell 3) viser estimatet for hver av variablene i en modell. Her kan man se hvordan en variabel påvirker modellen når de andre variablene er konstante. Kranshøyden går opp til 180° kronedekning, og vi kan se av grafene at KD øker i starten for så å avta.

DBH er den variabelen som reduserer residualspredningen mest i Modell 5 (Tabell 4). Ut fra parameterestimatet i Tabell 4 øker KD med økende DBH. Dette gjenspeiler seg også i profildiagrammet (Figur 4, Tabell 3). Gjennomsnittlig årringbredde i intervallet 11-20 år ($\bar{A}b_{11-20}$) er det beste intervallet til å forklare interseptet. Ved økende årringbredde i intervallet, øker også KD når de andre variablene i modellen holdes konstante. Motsatt effekt har variabelen årringbredde de siste 20 årene ($Siste_{20}$) i Modell 5, som har et negativt parameterestimat (Tabell 4).



Figur 4: Grafene viser profiler for alle variablene i en modell. Figuren presenterer 5 modeller. Rødt kryss indikerer at variabelen ikke er signifikant.

Tabell 3: Viser parameterestimer, R^2 og RMSE for samtlige modeller i Figur 4. Kranshøyde (KH), diameter i brysthøyde (DBH), gj.snitt. årringbredde 11-20 år ($\bar{A}B_{11-20}$), behandling (Bh), konkurranse (K) og gj.snitt. årringbredde siste 20 år ($\bar{A}B_{siste20}$).

Mod	Funksjon	R^2	RMSE
1	$KD = 8.3510138 + 0.0001368 DBH \times KH - 5.65e^{-8} DBH \times KH^2$	52 %	4.85mm
2	$KD = 4.1673715 + 0.0353934 (\bar{A}B_{11-20}) + 0.0001186 DBH \times KH - 4.763e^{-8} DBH \times KH^2$	61 %	4.36mm
3	$KD = 5.6537755 + 0.0285567 (\bar{A}B_{11-20}) + 0.0001256 DBH \times KH - 0.90545 K \times KH - 0.000439 Bh \times KH - 2.009e^{-8} \bar{A}B_{siste20} \times KH^2 - 3.403e^{-8} DBH \times KH^2$	64 %	4.21mm
4	$KD = 4.1215997 + 0.0354874 (\bar{A}B_{11-20}) + 0.0001204 DBH \times KH - 0.001017 Bh \times KH - 4.946e^{-8} DBH \times KH^2$	62 %	4.34mm
5	$KD = 5.756492 + 0.0282564 (\bar{A}B_{11-20}) + 0.000125 DBH \times KH - 0.952732 K \times KH - 3.291e^{-8} DBH \times KH^2 - 2.024e^{-8} \bar{A}B_{siste20}$	64 %	4.21mm

Modell 5

$y = \text{KD}$ i en kvistkrans (mm).

$$y = 5.756492 + 0.0282564x_1 + 0.000125x_2 - 0.952732x_3 - 3.291e^{-8}x_4 - 2.024e^{-8}x_5$$

$$R^2 = 65 \% \quad \text{RMSE} = 4.19\text{mm}$$

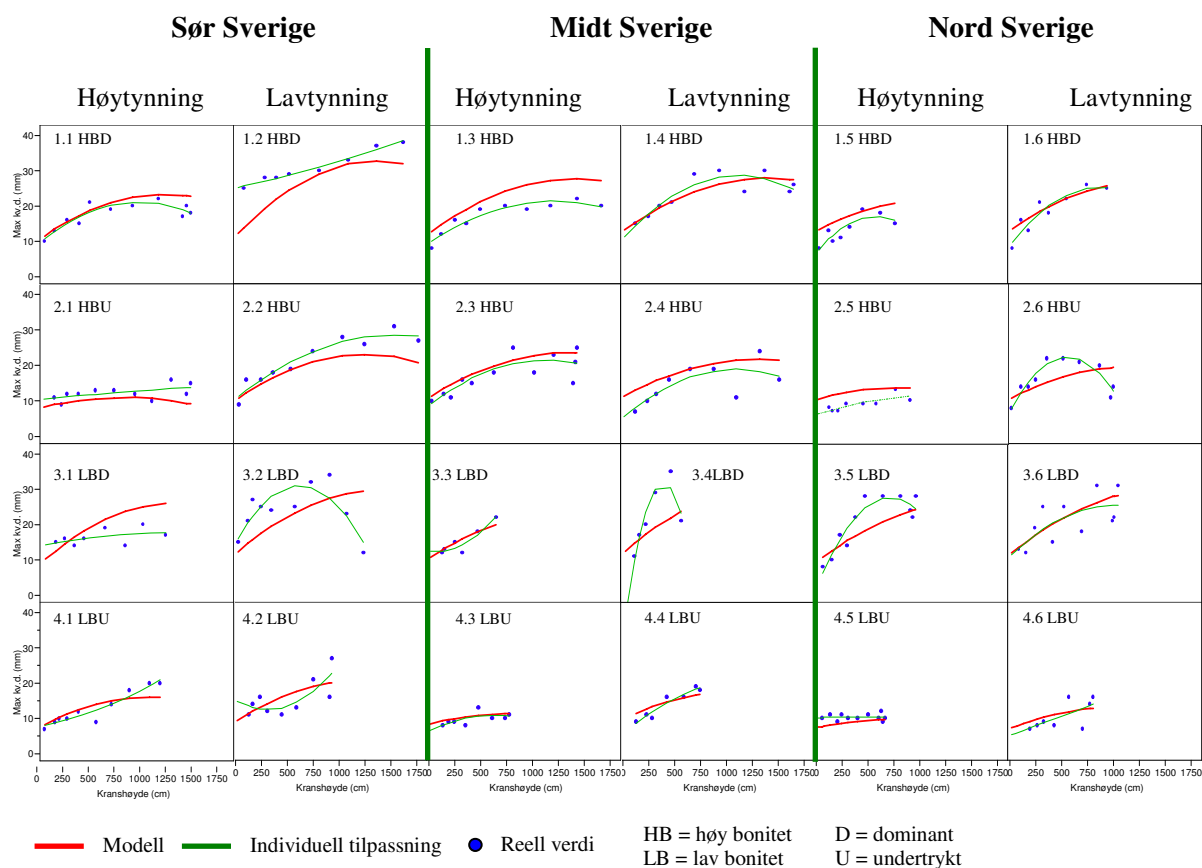
Tabell 4: Standardavvik, F-test og signifikanssannsynlighet for variablene i Modell 5. Kranshøyde (KH), diameter i brysthøyde (DBH), gj.snitt. årringbredde 11-20 år ($\bar{A}B_{11-20}$), behandling (Bh), konkurranse (K) og gj.snitt. årringbredde siste 20 år ($\bar{A}B_{\text{siste20}}$).

Variabler	Standardavvik	F-ratio	Prob > F
Intersept	0.733147	-	< 0.0001
x_1 : $\bar{A}B_{11-20}$	0.003815	54.85	< 0.0001
x_2 : DBH $\times$ KH	$9.188e^{-6}$	185.21	< 0.0001
x_3 : K $\times$ KH	0.218769	18.97	< 0.0001
x_4 : DBH $\times$ KH ²	$7.201e^{-9}$	20.88	< 0.0001
x_5 : $\bar{A}B_{\text{siste20}}$ $\times$ KH ²	$7.049e^{-9}$	8.24	< 0.0043

Modell 5 er den andregradsgradsfunksjonen med høyest R^2 . $R^2 = 65 \%$ og RMSE = 4.19mm. Modellen har 5 variabler der alle er individuelle trevariable. DBH er kryssset med KH og KH². Det er tydelig at DBH er den variabelen som reduserer residualspredningen mest.

3.1.2 Modelltilpassning

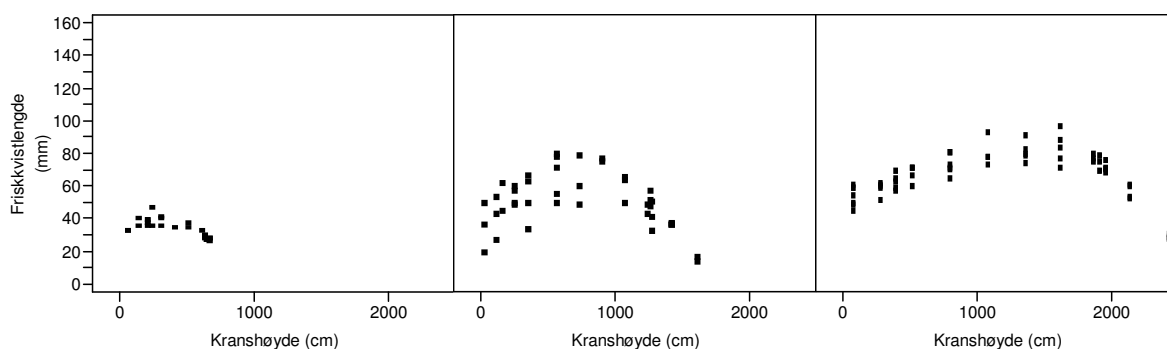
Figur 5 viser at Modell 5 gir bedre tilpassning på høye enn på lave boniteter. For de dominerende trærne øker KD med KH mer jevnt fra rota, for deretter å avta mot toppen av treet. Trærne på høy bonitet strekker seg lengre ut på x-aksen og får derfor høyere R^2 . På de lavere bonitetene ser man i større grad at KD varierer fra år til år, og man finner flere trær med positivt parameterestimat for KH², i motsetning til negativt som er det normale. Små forskjeller i KD for disse trærne vil ha større effekt på modelltilpassningen enn for trærne på høy bonitet. På lav bonitet er det tydelig forskjell på dominerende og undertrykte trær. De undertrykte trærne er korte med relativt liten variasjon i KD med KH. Stor spissing der KD øker mye med KH går igjen for de dominerende på lav bonitet. For trær fra lavtynning øker KD noe mer med KH, enn for trær fra høytynning. Geografisk ser vi at trærne er noe kortere opp til 180° krone i nord og lengst i sør. Interseptet treffer stort sett for alle trær og ligger på ca. 10mm for samtlige. Tre nr. 1.2, 3.3, 4.1 og 4.2 oppfører seg unormalt med et positivt parameterestimat for KH². Tre nr 3.4 har en stor økning i KD med KH som modellen ikke klarer å tilpasse seg i spissingen. Hos tre nr. 3.2 er det registrert kvist så langt opp i treet at KD avtar. Modellen klarer ikke å tilpasse seg i spissingen og bommer.



Figur 5: De registrerte verdiene og grafer for den optimale individuelle tilpassningen, og tilpassningen med Modell 5. Det er i alt 24 trær, fordelt på tre grove breddegrader (sør, midt og nord). For hver breddegrad har vi tynningsregime (høy/lavtynning), som igjen er fordelt på bonitet (høy/lav), og på rang (dominerende/undertrykt).

3.2 Friskkvistlengde

Figur 6 viser hvordan FL varierer med KH for tre ulike trær. Det er store forskjeller i FL, men felles for dem alle er at FL øker til en viss høyde, for så å avta mot toppen. Reduksjonen mot toppen skyldes i stor grad avsmalningen på trestammen.

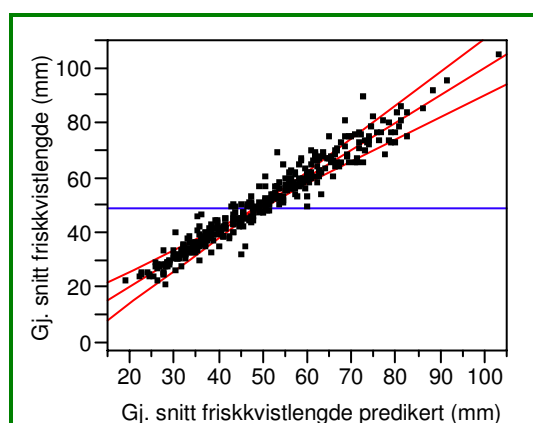


Figur 6: Friskkvistlengde hos de utvalgte kransene.

3.2.1 Modellering av friskkvistlengde – beste modell

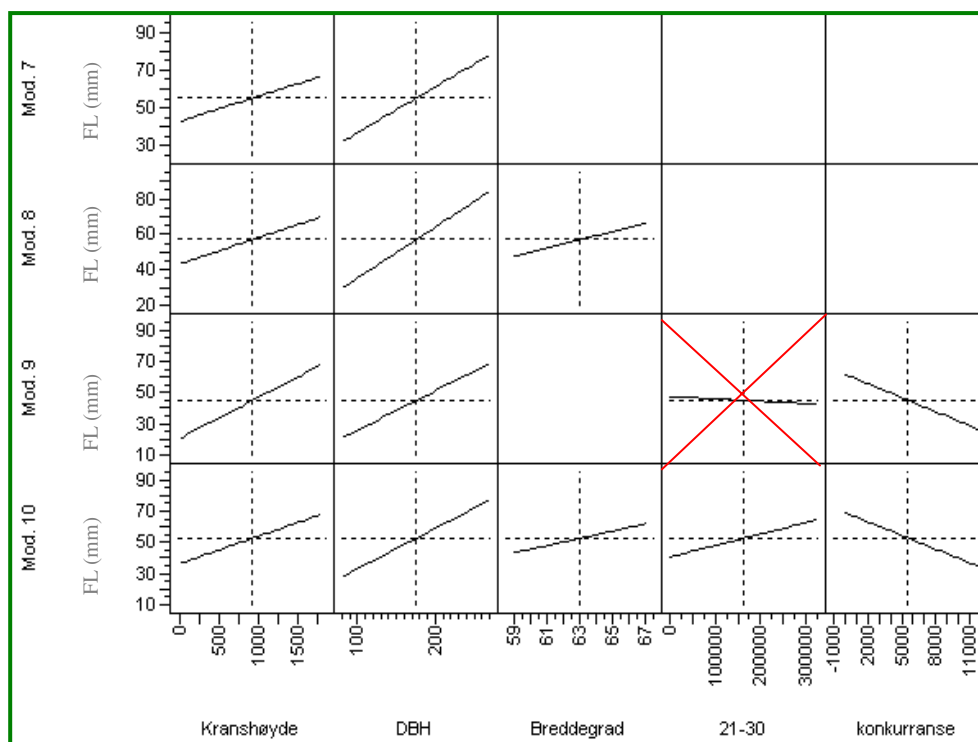
Fordi den øverste delen av stammen ikke er utvokst for de fleste forsøkstrærne, og det er den nederste stokken som er mest verdifull, er analyseringen av FL gjort for den delen av trestammen som strekker seg opp til nederste grønne grein. En andregradsfunksjon egnet seg godt til å forklare hvordan FL varierer med KH. Denne er gitt ved:

$FL = a_0 + a_1 \times KH + a_2 \times KH^2$. En analyse med individuell tilpassning for det enkelte tre gav en $R^2 = 95 \%$ og $RMSE = 4.5\text{mm}$. I Figur 7 er de predikerte FL plottet mot de faktiske FL.



Figur 7: Prediksjonsplott for en individuell andregradsfunksjon (FL).

Forklaringsvariablene breddegrad, DBH, gjennomsnittelig årringbredde i årringintervallet 21-30 år ($\bar{A}B_{21-30}$) og konkurranse gav den høyeste R^2 . Trær fra Bjørna forsøksområde er ikke representert i modellene for FL hvor konkurranseindeksen inngår, fordi objekttrær ikke er registrert. Profildiagrammet (Figur 8) viser estimatet for hver av variablene i en modell. Modell 10 er den beste og endelige modellen. DBH er viktig for redueringen av residualspredningen, uavhengig av hvilke andre variable som eventuelt er med i modellene 7 til 10. Modell 7 med kun KH og DBH har $R^2 = 48 \%$. Breddegrad alene har liten betydning for FL, men har størst effekt av alle forklaringsvariablene i Modell 10 ved F-test (Tabell 6). Breddegrad og DBH får en $R^2 = 67 \%$. For å se på breddegradens betydning, ble det modellert med og uten denne variabelen. I Modell 9 er breddegraden ekskludert, og de resterende forklaringsvariablene er de samme som i Modell 10. Dette resulterte i en vesentlig lavere R^2 , i tillegg til at variabelen $\bar{A}B_{21-30}$ ikke lenger var signifikant.



Figur 8: Grafene viser profiler for alle variablene for en modell. Figuren presenterer 4 modeller. Rødt kryss indikerer at variabel ikke er signifikant.

Tabell 5: Viser verdier for samtlige modeller i Figur 9. Kranshøyde (KH), breddegrad (Bg), diameter i brysthøyde (DBH), gj.snitt. årringbredde 21-30 år ($\bar{A}B_{21-30}$) og konkurranse (K).

Mod	Funksjon	R ²	RMSE
7	$FL = 13.076473 + 0.1719085 \text{ DBH} + 0.0000756 \text{ DBH} \times KH$	48 %	11.33mm
8	$FL = -140.2776 + 0.2092625 \text{ DBH} + 2.335921 \text{ Bg} + 8.4846e^{-5} \text{ DBH} \times KH$	67 %	9.08mm
9	$FL = 19.717924 + 0.1156149 \text{ DBH} + 0.0001498 \text{ DBH} \times KH - 0.000015 (\bar{A}B_{21-30}) \times KH - 0.003003 K \times KH^2$	53 %	10.66mm
10	$FL = -134.3521 + 0.1664129 \text{ DBH} + 2.3181908 \text{ Bg} + 0.0001004 \text{ DBH} \times KH + 7.3223e^{-5} (\bar{A}B_{21-30}) \times KH - 0.00293 K \times KH^2$	73 %	8.07mm

Modell 10

$y = \text{FL i en kvistkrans (mm)}$.

$$y = -134.4 + 2.3182x_1 + 0.1664x_2 + 0.0001x_3 + 0.00007x_4 - 0.00293x_5$$

$$R^2 = 73 \% \quad \text{RMSE} = 8.1\text{mm}$$

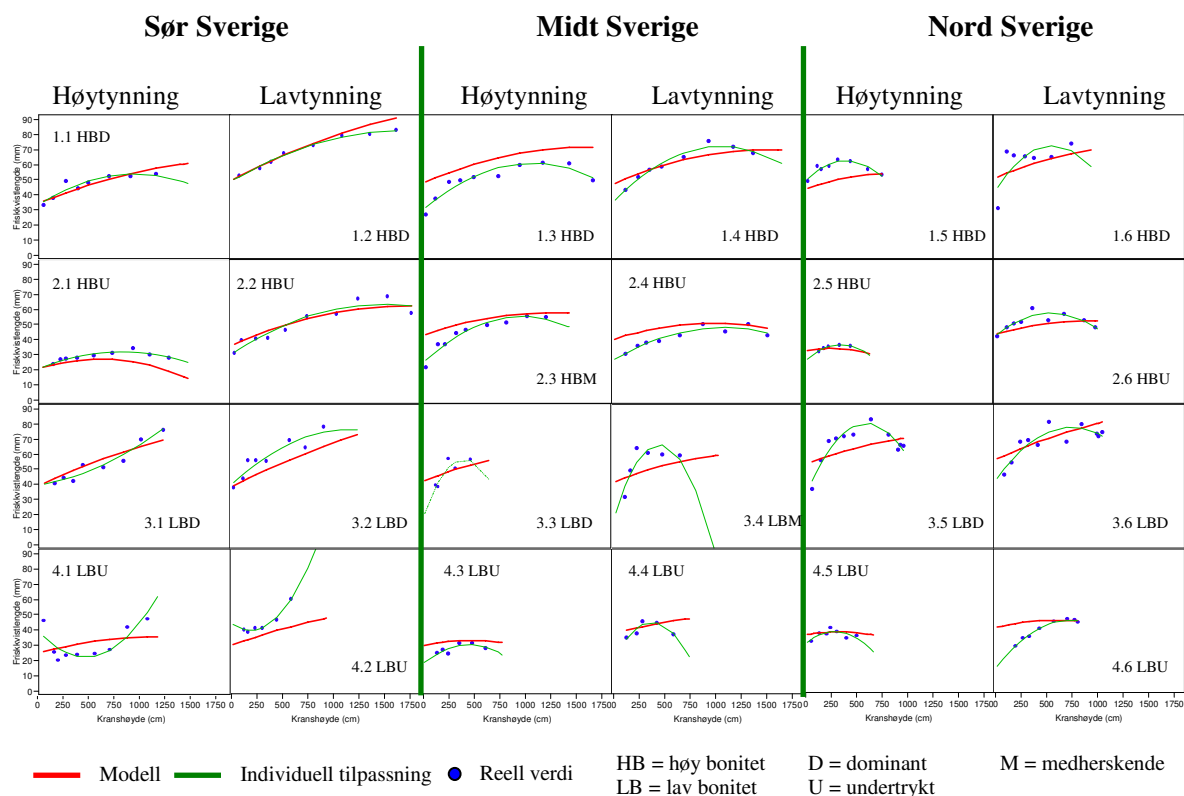
Tabell 6 : Standardavvik, F-test og signifikanssannsynlighet for variablene i Modell 10. Kranshøyde (KH), diameter i brysthøyde (DBH), gj.snitt. årringbredde 21-30 år ($\bar{A}B_{21-30}$), breddegrad (Bg) og konkurranse (K).

Variabler	Standardavvik	F-ratio	Prob > F
Intersept	10.04367	-	< 0.0001
x_1 : Bg	0.147656	246.49	< 0.0001
x_2 : DBH	0.014568	130.49	< 0.0001
x_3 : DBH $\times$ KH	0.000018	31.25	< 0.0001
x_4 : $\bar{A}B_{21-30} \times \text{KH}$	0.00002574	8.09	0.0047
x_5 : K $\times$ KH ²	0.000523	31.42	< 0.0001

3.2.2 Modelltilpassning

Figur 9 viser hvordan Modell 10 tilpasser seg et utvalg av materialet. Tre nr. 2.3 og 3.4 er av diverse grunner byttet ut med medherskende trær fra samme plot. Modellen tilpasser seg best på høye boniteter i Sør- og Midt Sverige. Her viser trærne jevn sammenheng for FL med KH. Avstanden mellom kvistkransene er jevnere enn på lavere boniteter. Materialet på de lave bonitetene varierer mer for FL med KH, og modellen har problemer med å følge de reelle FL, særlig der hvor kurven er spiss. Disse trærne har en stor økning i FL med KH fra roten av treet og en stor reduksjon mot toppen. Tre nr. 4.1 og 4.2 har positivt parameterestimat for KH².

Trær som er behandlet med lavtynning oppnår større FL, noe som er tydelig på de høye bonitetene i Sør- og Midt Sverige. Tre nr. 2.1 har atskillelig mindre FL med KH enn tre nr. 2.2 som er behandlet med lavtynning. På de høye bonitetene i Nord Sverige er det stor forskjell i FL hos de undertrykte trærne 2.5 og 2.6, der 2.6 ligger på et høyere nivå. Hos de dominante trærne på lave boniteter i Midt- og Nord Sverige, ser breddegrad og behandling ut til å ha liten betydning for FL, da disse trærne er veldig like. I det totale datamaterialet utvikler trærne på lav bonitet i nord lengre friskkvist enn tilsvarende trær i sør. FL hos de undertrykte trærne, er gjennomgående mindre enn hos de dominante trærne på samme bonitet.



Figur 9: Viser de registrerte verdiene og grafer for den optimale individuelle tilpassningen, og tilpassningen med Modell 10. Det er i alt 24 trær, fordelt på tre grove breddegrader (sør, midt og nord). For hver breddegrad har vi tynningsregime (høy/lavtynning), som igjen er fordelt på bonitet (høy/lav), og på rang (dominerende/undertrykt).

4 DISKUSJON

4.1 Materialet

Materialet som ligger til grunn for undersøkelsen består av totalt 49 trær fra 16 ulike plot. Det betyr at hvert plot er representert med kun 3 trær. Dette materialet egner seg derfor ikke til variansanalyser. Den store variasjonen i ulike behandlinger og vokseforhold, gir imidlertid stor spredning i vekst og egenskaper som vanligvis er en fordel når en skal gjøre regresjonsanalyser. Hvis en hadde ønsket å gjøre variansanalyser burde man sannsynligvis samlet hele 15 trær fra hvert plot. I utgangspunktet ønsket man å bruke mixa modeller for å skille mellom tilfeldige treeffekter og ulike faste effekter for å få en bedre oversikt over hvor variasjonene finnes i materialet. I mixa modeller hvor en bruker REML (restricted maximum likelihood) estimering, gir dette mindre problemer med avhengighet mellom observasjoner og kolaritet mellom ulike forklaringsvariable. Når mixa modeller for KD og FL skulle lages fikk vi aldri modellen til å konvergere. Derfor ble tilpasningen med bruk av minste kvadraters metode brukt. Grunnen til at REML-analysene ikke konvergente er antageligvis den store spredningen i materialet.

Grunnet meget god oppfølging av bestandene gjennom alle år, foreligger det i dag spesifikk informasjon om alder, tynningsuttak og tilvekst. Registreringene er gjort før og etter hvert inngrep. Dette gjorde det mulig og si noe om hvorvidt grunnflatesum og andre bestandsvariable hadde betydning for KD og FL. $KD < 7\text{mm}$ ble ikke registrert. Siden deler av materialet er ungt, burde disse vært registrert siden de mest sannsynlig ville ha fortsatt å utvikle seg. Undertrykte trær særlig på lav bonitet kan ha generelt små kvister et stykke oppover stammen, derfor kan en større del av materialet ha blitt utelatt. For disse trærne blir mye av det reelle interseptet oversett, som kan være grunnen til at det her hyppig forekommer positivt parameterestimat for KH^2 (Figur 5, 9). Dette kan i tillegg være noe av grunnen til at mixa modeller ikke konvergente.

Materialet kan ikke klassifiseres som hogstmodent.. Mest ønskelig hadde det vært og samlet data fra bestand, rett før foryngelseshogst, slik at behandlingseffekten og andre effekter hadde synliggjort sitt resultat ved fullt omløp. Likevel kan man på dette materialet se trenden for kvistutvikling som resultat av enten lav- eller høytytning.

For modellene med konkurranseindeks er ikke materialet fra Bjørna representert, fordi det ikke ble registrert under samplingen. Konkurranse har vært en egnet forklaringsvariabel, noe som har resultert i et enda mindre robust materiale fra Midt Sverige.

I modelleringen av KD og FL, fant vi for individuelle tilpassede andregradsfunksjoner, høye R^2 (Figur 3, 8). De høye R^2 betyr at for et materiale med så stor variasjon som dette kan KD og FL likevel predikeres.

4.2 Kvistdiameter

4.2.1 Forklaringsvariable for Modell 5

Gjennomsnittelig årringbredde 11-20 er eneste variabel i interceptet og forklarer nivået for kurven til modellen. Grunnen til at intervallet ikke starter i null er at årringbreddene rundt marginen er veldig store og uforutsigbare. Siden det ikke er målt $KD > 7\text{mm}$, sitter de første kvistene over dette nivået. Veksten i årene 11-20 bestemmer i stor grad hvor stor KD skal bli for de nederste kransene. Vi kan i dette intervallet antagelig avdekke effekten av tidlig konkurranse. Informasjon angående behandlinger i bestandenes ungdomsfase finnes imidlertid ikke.

Diameter i brysthøyde har ved F-test visst seg å være den variabelen i Modell 5 som i størst grad reduserer residualspredningen. Variabelen kommer inn både i første- og andregradsleddet og er derfor med på å forklare modellens evne til å tilpasse seg i stigningen og i spissingen på kurvene (Figur 5). Selv om vårt datamateriale har hatt stor aldersspredning har DBH hatt høyest effekt når den ikke har vært korrigert for alder. I materialet reduserte ikke alder residualspredningen ytterligere etter at DBH var tatt inn i modellen, slik en kanskje burde vente (Øyen 1999). En teori kan være at liten DBH i dette materialet både kan bety at en har med et ungt bestand å gjøre eller at en har med et undertrykt tre å gjøre. Begge tilfeller vil gi mindre KD. Stor DBH betyr at et tre vokser bra eller er gammelt noe som igjen betyr stor KD. DBH er sammensatt av flere "undervariabler" som er viktige å få med når en skal finne ut hvorfor den har så stor effekt ved F-test (Tabell 4). Alle variabler som har med diametertilvekst å gjøre vil påvirke variabelen. Diametertilveksten styres i størst grad av bonitet og konkurranse. Bonitet og konkurranse har igjen sine "undervariabler". Bonitet tar med seg egenskapene og næringstilgangen man finner i bakken mens konkurransen handler

om tetthet og behandling, med andre ord det som har med lystilgangen å gjøre. Med denne oppdelingen er det lettere å se hvorfor DBH har så god forklaring for KD i første- og andregradsleddet.

Konkurransindeksen sier noe om tettheten rundt det enkelte tre. Svakheten er at indeksen ikke er utregnet ved samme tidspunkt for alle bestand. Noen bestand var nettopp tynnet mens andre ikke. Konkurransindeksen har allikevel vist seg å være den beste variabelen for å beskrive tetthet og hvilken effekt den har for KD. Av de andre variablene for tetthet hadde vi behandling og treantall/ha. Dette er bestandsvariabler mens konkurransindeksen er individuell. En god individuell trevariabel vil normalt gi større bidrag til å forklare hvordan et tre har vokst enn en bestandsvariabel, som beskriver en gjennomsnittsverdi for bestandet. Behandling korrelerte med konkurranse i modellen som vi kan se av de tre siste Modellene 3, 4 og 5. I Modell 3 er begge variablene med, og vi ser at behandling ikke blir signifikant (Figur 4).

Gjennomsnittelig årringbredde for de siste 20 årringene skal vise til diametertilveksten de siste 20 årene av treets liv. Variabelen er litt ”skummel” med tanke på aldersspredningen i materialet. Denne variabelen har et negativt parameterestimat i profildiagrammet (Figur 4). Ved god vekst de siste 20 årene avtar KD med KH når de andre variablene holdes konstant. Dette er ikke uten videre logisk, men det blir slik på grunn av korrelasjonen med DBH. For konstant DBH vil store årringbredder de siste 20 årene bety smalere årringer i årene før, som igjen vil gi mindre KD og dermed bedre kvalitet i nedre delen av treet (Høibø 1991). Siden datamaterialet er hentet fra tynningsbestand vil det ofte være en frigjøring som gjør at diametertilveksten øker de siste årene.

4.2.2 Modell 5

Modell 5 oppnår høyest R^2 av alle modellene for KD. Variablene er alle individuelle trevariabler som i praksis kan være vanskelige å bruke, KD utvikles jevnt med KH. Modellen treffer best på høye boniteter da disse kurvene som regel er lettere å modellere. Nivået og stigningen for kurva varierer relativt lite her. Største KD er å finne i nederste del av krona. Denne karakteristiske utviklingen er funnet av (Bjørklund 1997). Det jevne polynomene er som regel enklest å modellere med en andregradsfunksjon. Modellens tilpassning på lavere boniteter hos de dominante trærne er dårlig. Disse trærne utviklet raskt store KD, og den

største KD blir like stor som største KD på høy bonitet. I materialet går det frem at kvisten lever lenger for de dominerende trærne på lav bonitet. Grunnen er antagelig sammensatt av flere faktorer. Furu på lavere boniteter kan tenkes å ha en mer glissen krone som slipper inn mer lys til vær grein som gjør at den kan leve lenger. På lave boniteter er treantallet ofte mindre per arealenhet og konkurransen kan derfor regnes som mindre. På lav bonitet tar det også lenger tid før bestandet slutter seg siden greinene vokser seinere i lengden.

Ser man på ulike breddegrader kan man se på forskjellene mellom nord og sør. Avstanden opp til 180° kronehøyde er kortere i nord. Dette kan skyldes kortere toppskudd ved kortere vekstsesong, og at trærne kan ha stått mer glissent. Modellen ser ikke ut til å tilpasse seg noen breddegrad bedre enn andre.

De undertrykte trærne på dårlige boniteter ser ut til å være enkle å modellere. Kurven er kort og nærmest plan (Figur 5). Siden disse trærne vokser så dårlig er det vanskelig og mindre interessant å finne hvilke effekter som styrer veksten. Det er likevel verdt å merke seg den store forskjellen på undertrykte trær på lav og høy bonitet. På de høye bonitetene var kronehøyden mye større. Dette er logisk da man på høye boniteter har bedre høydetilvekst, slik at kronehøyden under må følge etter.

4.3 Friskkvistlengde

4.3.1 Forklaringsvariable for Modell 10

Breddegrad viser ved F-test å være den viktigste forklaringsvariabelen i Modell 10 når det gjelder å predikere FL. Det finnes lite, om ingen tidligere studier rundt den direkte betydningen breddegrad har som forklaringsvariabel for FL. Det er imidlertid gjort en del undersøkelser som indirekte kan være med og forsterke breddegrad som forklaringsvariabel. Tette bestand som vi ofte finner i sør, har en høyere grad av konkurranse mellom trærne og tilgang til næringsstoffer, vann og lys. Observasjoner av gran viser at tettere bestand resulterer i mindre KD enn i glisne bestand (Johansson 1992, Høibø 1991b). Lys er trolig den enkeltfaktoren som har størst betydning for fordeling av barmasse og greiner på de enkelte trærne. I en glissen skog vil lysforholdene sørge for at greinene strekker seg med det formål å fylle ledige rom. Barmassen øker og greinene blir tjukkere (Høibø 1992). Etter hvert som trekronene vokser sammen og skaper skygge for greinene under vil veksten til de nedre

greinene avta og etter hvert dø. I følge Persson (1985) kan man ut fra tettheten til foryngelsen si mye om den senere tømmerkvaliteten til furua. Figur 8 viser at kvistens levetid er lengre ved økende breddegrad når de andre variablene i Modell 10 holdes konstante.

Paramtererestimatet for breddegrad i Modell 10 gir oss en signifikant forskjell på nesten 2cm fra nord til sør (Tabell 5). Det kan synes som at de dårligere vekstvilkårene i nord reduserer tettheten på foryngelsen sammenlignet med Sør Sverige, og dermed er grunnlaget lagt for et mer glissent bestand fremover. Mindre konkurranse og mer lys som slippes ned i bestandet sørger for en større og lengre grein utvikling. I nord har Pajala og Jokkmokk lys hele døgnet under sommerhalvåret, som også kan ha en betydning. Det kan også være ulike genetiske egenskaper hos trærne i nord mot trærne lenger sør, som er noe av årsaken til forskjellene. Denne faktoren kan gjøre at furua utvikler en mer glissen trekrone i Nord Sverige. I så fall vil dette ha stor betydning for lysmengden ned i bestandet.

Diameter i brysthøyde går igjen som en viktig variabel i flere undersøkelser av FL for gran (Øyen 1999, Vestøl & Høibø 1998) og for furu (Moberg 1999). I Modell 10 inngår DBH i interseptet og førstegradsleddet. I Modell 7 hvor kun DBH og KH er med i modellen blir R^2 så stor som 48 % (Tabell 5). Grunnen til at DBH reduserer residualspredningen så mye, er fordi DBH påvirkes så mye av bonitet, planteavstand og treets stilling i bestandet. Alle disse variablene betyr mye for kvistutviklingen i det enkelte tre.

Molteberg & Sundby (1994) fant en klar sammenheng mellom KD og FL. Modellen ble forsøkt korrigert med alder, men det reduserte ikke residualspredningen ytterligere slik en kanskje burde vente (Øyen 1999). En teori kan være at liten DBH i dette materialet både kan bety at en har med et ungt tre å gjøre eller at en har med et eldre undertrykt tre å gjøre. Begge tilfeller vil gi mindre FL. Stor DBH betyr at treet vokser bra eller er gammelt, noe som igjen gir stor FL. Pukkala *et al.* (1992) fant for unge ensaldrede furubestand god korrelasjon mellom DBH og en konkurranseindeks identisk med Hegyi (1974).

Gjennomsnittelig årringbredde i årringintervallet 21-30 er kryssset med KH og er med å forklare stigningen for Modell 10. Av flere årringintervaller er dette det som reduserer residualspredningen mest. FL øker med $\bar{A}B_{21-30}$ når de andre variablene i Modell 10 holdes konstante. Dette årringintervallet sier noe om endringer i diametertilveksten på bakgrunn av vekstvilkår og konkurranse. Vekstvilkårene består i stor grad av bonitet, og konkurranse eller

tetthet. $\bar{A}B_{21-30}$ viser seg å ikke være signifikant når modellen ikke er korrigert for breddegrad, Modell 9 (Figur 8). Dette tyder på ulik konkurranse ved ulike breddegrader. Når en korrigerer for breddegraden i Modell 10, blir materialet delt opp slik at $\bar{A}B_{21-30}$ tilpasser seg de forskjellige breddegradene (Figur 8). Ved økende konkurranse vil både årringveksten og FL reduseres. Det blir en raskere kvistdød grunnet på grunn av mangel på lys.

Konkurranse er kryssset med KH^2 i Modell 10. Dette er den eneste variabelen som forklarer spissingen til modellen. Negativt parameter estimat betyr at FL avtar ved økende konkurranse når de andre variablene er konstante (Figur 8). Figur 9 viser at modellen tilpasser seg bedre på høye boniteter enn på lave. R^2 blir høyere fordi trærne blir lengre. I tillegg er det mindre variasjon rundt den tilpassede kurven fra krans til krans, for materialet fra de høye bonitetene. Molteberg & Sundby (1994) fant en klar sammenheng mellom relativ kvisthøyde og relativ FL.

For tre nr. 1.5, 1.6, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 4.3 og 4.4 ser vi at modellen ikke tilpasser seg spissingen, da denne blir for stor (Figur 9). Disse trærne har det til felles at de er korte med stor spissing. Modellen får da problemer med å følge det polynomiale forløpet. Denne veksten skyldes at trærne prioriterer diametervekst fremfor høydevekst. Grunnen kan være liten konkurranse, slik at høydevekst ikke er nødvendig for å kjempe om lyset i bestandet. Det må også nevnes at disse trærne stammer fra lave boniteter og bestand i nord.

4.3.2 Modell 10

Modell 10 har bedre tilpassning på de høye bonitetene i forhold til de lave (se diskusjonen over). På lave boniteter har noen trær positivt parameterestimat for KH^2 i motsetning til negativt, som er det normale.

På de høye bonitetene i Nord- og Sør Sverige, er det stor forskjell på FL mellom høytynning og lavtynning for de undertrykte trærne. Dette skyldes store forskjeller i DBH og utvalgseffekt mellom de to tynningsregimene. I lavtynnede bestand øker FL med KH generelt mer enn i høytynnede bestand. Dette gjelder ikke for undertrykte trær på lav bonitet, da disse utvikles lite uansett. Ved høytynning tar man ut de mest dominante trærne slik at underbestandet slippes til. Underbestandet har frem til tynning vært undertrykt, slik at

greinene ikke har kunnet utvikle seg på lik linje med de dominante trærne. En flatere kurve for høytynning tyder på at greinene har dødd tidligere.

Dominante trær på lave boniteter i Midt- og Nord Sverige, hadde for dette materialet en stor økning i FL med KH fra roten av treet, og en stor reduksjon mot toppen (Figur 9). Det er tenkelig at dette kan skyldes vekstforholdene ved nordligere breddegrader. Trærne i nord hadde kortere toppskudd. Kronen utviklet seg derfor saktere. Trærne stod dessuten mindre tett. Det førte til at greiene i krona levde lenger. Det fører igjen til større FL. Et kortere tre vil med en slik utvikling gi et spissere FL-profil.

Moberg (1999) fant for furu og Vestøl & Høibø (1998) for gran, at størst KD og FL utvikles på gode boniteter, der bestandstettheten er lav. Dette strider litt imot våre resultater, der de største FL utviklet seg i nord hvor boniteten var relativt lav. Spørsmålet er om denne forskjellen i resultat skyldes en effekt av breddegrad. For dette materialet økte FL med økende breddegrad når andre variable ble holdt konstant.

Det kan også tenkes at trærne i nord har en annen genetikk og utvikler en smalere krone. Dette vil ved samme planteavstand gi mer lys til greinene lenger ned i krona og dermed økt levetid. I tillegg har trærne i nord lys hele døgnet under vekstsesongen.

4.4 Sammenfattende diskusjon om virkeskvalitet

Uusvara (1975) og Agestam *et al.* (1998) har påvist at naturlig foryngede bestand utvikler tynnere og mindre greiner enn plantede bestand. Dette kan skyldes at naturlig foryngede bestand har større utgangstetthet enn plantefelt. Konkurransen mellom trærne blir da også høyere. Mye av den fremtidige tømmerkvaliteten i rotstokken, legges i treetts ungdomsfase. Interseptet i modellen for KD er forklart ved $\bar{A}B_{11-20}$. Denne årringbredden er styrt av flere undervariabler og konkurransen vil være en av dem. Ungskogspleie er da tenkelig å kunne være et verktøy for å styre virkeskvalitet (KD i rotstokken).

For videre utvikling av den etablerte kvisten vil stammekvisting være et reduserende tiltak som skaper kvistfritt virke. Ved valg av tynningsregime kan man både for KD og FL, se ulike kvistegenskaper for høy- og lavtynning. Lavtynnede bestand har en raskere utvikling av kvist og oppnår ofte større KD og FL enn høytynnede bestand. FL ser også ut til å bli noe lengre

enn ved høytynning. Hvis formålet er å oppnå best virkeskvalitet, vil høytynning være å anbefale, men det er da tenkelig at dette kan gå utover volumproduksjonen. Karlsson *et al.* (1999), har brukt data fra samme databank og funnet at volumtilveksten for furu pr. areal minsker ved økende tynningsstyrke.

Noen sagbruk har sett lavere betalingsvilje og dårligere marked for trelast med tørrkvist. På bakgrunn av dette kan det være ønskelig å fremelske mer friskkvist i trevirket. Dette vil innebære store omlegginger i skogbehandling og hvordan synet på framtidsskogen skal se ut. På furu vil dette ut fra vårt syn være problematisk. Lavtynning gir i mange av våre rotstokker KD opp mot 3.5cm som er lite ønskelig selv som friskkvist (Anonym 1997). Når disse kvistene dør vil det i tillegg bli enorme tørrkvister. Andelen kvistfritt virke vil dessuten bli liten.

5 Konklusjon

Vi hadde to formål med dette studie:

- (1) *Utvikle modeller for kvistegenskaper i forhold til tynningsstrategier og konkurranse på enkeltrær innen bestand.*
- (2) *Vurdere effekten av de viktigste forklaringsvariablene og hvordan de påvirker virkeskvaliteten.*

KD øker med økende KH og når sitt maksimum i nedre del av krona, for så å avta mot toppen. FL er sterkt korrelert med KD og øker derfor med økende KH. Lengste friskkvist observeres like før kronens begynnelse og vil avta mot toppen, først og fremst pga. avsmalningen. KD og gjennomsnittelig FL lot seg enkelt modellere ved hjelp av regresjonsanalyser, men noen forklaringsvariable er vanskelige å måle i praksis, slik som ulike årringbredder. Diameter i brysthøyde er i likhet med flere tidligere undersøkelser den viktigste og mest forklarende variabelen for KD og FL. Store trær med stor diameter i brysthøyde har ofte stor kvist, uavhengig av alder. Diameter i brysthøyde samspiller ofte med gjennomsnittelig årringbredde for et gitt intervall. Store årringer i intervallet vil gi mindre årringer utenfor og motsatt når diameteren holdes konstant. Grunnen til at DBH reduserer residualspredningen så mye, er de mange "undervariablene" som styrer selve variabelen. Oppsiktsvekkende er hvordan breddegrad påvirker FL. Ved økende breddegrad øker FL og antall år med friskkvist. Dette kan skyldes ulike lysforhold i nord og syd, mindre konkurranse, bedre tilpasset krone og mulig genetiske forskjeller. Behandling er en bestandsvariabel som reduserer residualspredningen relativt lite. Dette fordi den inngår i DBH og fordi konkurranse forklarer mye av det samme på trenivå. Sorterer man alle trærne etter behandling, ser man tydelig hvilken effekt den har. Lavtynning utvikler større KD og FL med KH enn hva høytynning gjør.

6 Litteratur

Agestam, E., Ekö, P.M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in naturally regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. *Studia For. Suecica* 204:17s.

Anonym. 1994. Nordisk tre-sorteringsregler. Opplag 1. Treindustriens tekniske forening. Markaryd 64 s. (In Norwegian)

Anonym. 1997. Nordiske regler for visuell styrkesortering av trelast. Norsk standard. NS-INSTA 142. 1.utg. juni 1997.

Berdal, K. & Eikrem, E. 2001. Sound Knot Cylinder in *Pinus sylvestris*. Hovedoppgave, treteknologi INA, UMB 77 s.

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.

Björklund, L. 1997. The interior knot structure of *Pinus sylvestris* stems. *Scandinavian Journal of Forest Research*. Vol.12. No.4 1997. 10 s

Brække, F.H., Frank, J. & Frivold, L.H. 2002. Skogskjøtsel for bærekraftig ressursbruk. NLH Rapport nr. 1: 8-19.

Colin, F. & Houllier, F. Branchiness of Norway spruce in north-eastern France: modelling vertical trends in maximum nodal branch size. *Ann. Sci. For.* 48: 679-693.

Daniels, R.F., Burkhart, H.E. & Clason, T.R. 1986. A comparison of competition measures for prediction growth of loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 16(6):1230-1237.

- Eriksson, H. & Karlson, K. 1997. "Effects of different thinning and fertilization regimes on the development of Scots pine (*Pinus sylvestris* (L.)) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in long-term silvicultural trials in Sweden.) SLU, Department of Forest Yield Research. Report No. 42, 135 s.
- Hegyi, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. In: Fries, J. Growth models for tree and stand simulation. Skogshøgskolan. Institution för skogsproduktion. Rapport och uppsatser 1974(30): 74-90.
- Høibø, O.A., Vestøl, G.I., Sundby, H.J. & Molteberg, D.E. 1997. Modelling knottiness and knot characteristics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). The influence of diameter- and height growth on knot characteristics of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.): 45-48 in: Nepveu, G. (ed.). Second Workshop "Connection between Silviculture and Wood Quality through Modelling Approaches and Simulation Softwares", Kruger National Park, South Africa, August 26-31, 1996, Proceedings. Publication Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois 1997/7.
- Høibø, O.A. 1992. The impact of forest management practices on the wood quality. Swed. Univ. of Agric. Sciences, Departement of Silviculture, Umeå. Report 35:138-148
- Høibø, O.A. 1991b. Sammenhengen mellom tømmerkvalitet og planteavstand hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.). In: Høibø, O.A. 1991. Virkeskvaliteten til gran (*Picea abies* (L.) Karst.) plantet med forskjellig avstand. Dr. Scient. Th. 1991:13, Norges Landbrukshøgskole.
- Johansson, K. 1992. Effects of initial spacing on the stem and branch properties and graded quality of *Picea abies* (L.) Karst. Scandinavian Journal of Forest Research. 7:503-514.
- Karlsson, K. Mörling, T. & Pape, R. 1999. Gallring på gott och ont-hur påverkas tillväxt och kvalitet hos tall och gran? SLU. Fakta skog nr. 10.
- Kollmann, F. & Côté, A. 1968. Principles of wood science and technology. Vol. 1. Springer-Verlag. Berlin. 592 s.

Lexerød, N. L. 2001. Alternative skogbehandlinger: Produksjon, virkeskvalitet, driftsteknikk & økonomi. Norsk institutt for skogforskning. 34 s.

Moberg, L. 1999. Models of knot properties for Norway spruce and Scots pine. Doctor's dissertation. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 121.

Molteberg, D. & Sunby, H. J. 1994. Modelling av kvalitetutvikling hos gran (*Picea abies* (L.) Karst).

Oja, J. 1997. X-ray measurment of properties of sawlogs. Luleå University of Technology, Division of Wood Technology, Doctoral Thesis 1999:14, 311-315. Skellefteå.

Pape, R. 1999. Influence of thinning and tree diameter class on the delopment of basic density and annual ring width in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research 14(1): 27-37.

Persson, A. 1985. Beståndsanläggningens inverkan på kvaliteten. Skogsfakta 6: 27-32.

Pukkala, T., Karsikko, J. & Kolstrøm, T. 1992. A spatial modell for the diameter of thickest branch of Scots pine. Silva Fennica 26(4):219-230.

Uusvaara, O. 1975. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Comm. Inst. For. Fenniae 80 (2):105s.

Vadla, K. 2005. Årsmelding. Skogforsk, NISK. 20-22.

Vestøl, G.I., Colin, F. & Loubère, M. 1999. Influence of progeny and initial stand density on the relationship between diameter at breast height and KD of *Picea abies* (L.) Karst. Scand. J. For. Res. (In press.)

Vestøl, G.I. & Colin, F. 1998. Border between sound and dead knot innside 31-year old *Picea abies* stems: effect of diameter at brest height, initial stand density and progeny. In: Single-tree models of knot properties in Norway spruce (Vestøl, G.I). Norges Landbrukshøgskole, Institutt for skogfag, Doctor Scientarium theses 1998:34, 17 s. Ås.

Vestøl, G.I. & Høibø, O.A. 1998. Internal distribution of sound and dead knots in *Picea abies* (L.) Karst. Holz als Roh- und Werkstoff.

Øyen, O. & Høibø, O. A. 1999. Prediction of an industrial sound-knot cylinder on individual trees in standing units of old spruce (*Picea abies* (L.) Karst). In: Wood quality in old stands of Norway spruce (Øyen, O). Norges Landbrukshøgskole, Institutt for skogfag, Doctor Scientarium theses 1999:15. Ås, 18 s.