

MOE, SMÅ FEILFRIE PRØVER MOT BRUKSDIMENSJONER AV GRAN (PICEA ABIES (L.) KARST).

MOE, SMALL CLEAR SAMPLES VS. UTILITY DIMENSIONS FOR NORWAY SPRUCE(PICEA ABIES (L.) KARST).

CHRISTOFFER SLAASTAD STUDSRØD

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



Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for Naturforvaltning ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) våren 2010, og markerer slutten av min mastergrad i skogfag.

Valg av tema for oppgaven har jeg kommet frem til i samarbeid med førsteamanuensis Olav Høibø ved UMB, og Jan Bramming og Audun Øvrum ved Treteknisk. Oppgaven er en liten del av et større samarbeidsprosjekt mellom UMB og Treteknisk som heter Wood Quality Predicting Systems.

Det er mange som har bidratt med hjelp og støtte under arbeidet med denne masteroppgaven. Først vil jeg få takke mine veiledere Ulrich Hundhausen ved Treteknisk og Olav Høibø for god oppfølging, diskusjon og veiledning under arbeidet. Videre vil jeg også takke de andre ansatte ved Treteknisk som har bidratt med hjelp under arbeidet, og for en god mottakelse. Avslutningsvis vil jeg også rette en stor takk til Jonathan Studsrød og Tone Holmelin. Jonathan har bidratt med uvurderlig hjelp til sortering og plukking av plankene som denne oppgaven bygger på. Tone har vært en utrolig god støtte gjennom hele studietiden, samt gitt tilbakemeldinger i forbindelse med oppgaven.

Oslo, 15. mai 2010

Christoffer Slaastad Studsrød

Sammendrag

Formålet med denne oppgaven var å se om det var noen sammenheng mellom elastisitetsmodul (**E**) målt på små feilfrie prøver (**SFP**), og **E** målt på bruksdimensjoner (**BD**) hos gran (*Picea Abies* (L.) Karst). Dessuten var det ønskelig å se på hvor mye **SFP** betydde i forhold til virkesfeil som kvist.

Materialet til oppgaven ble plukket basert på følgende kriterier; bestand på dårlig, middels og god bonitet, trær med ulik sosial status (herskende, medherskende og undertrykt), ulik plassering i treet (rot, midt og toppstokk) samt inner- og ytterplank fra de ovenfor nevnte stokktypene. Så lang det var mulig ble det brukt tre gjentak.

På både **BD** og **SFP** ble det registrert både global (**G**) og lokal (**L**) **E**. Alle **BD** ble også testet på begge sider ved at prøven ble snudd 180°, og det var gjennomsnittet av disse verdiene som ble benyttet til videre analyser. Det ble først registrert **E** på **BD**, før det deretter ble skåret ut et antall **SFP** to steder på hver plank.

Gjennomsnittlig E_G på **BD** var 12391 N/mm² og E_L var 10797 N/mm². På de **SFP** ble gjennomsnittlig E_G 14701 N/mm², og E_L 14996 N/mm².

Lineær regresjon viste at sammenhengen mellom E_G på **SFP** og **BD** kan uttrykkes ved Modell 4: $E_{GBD} = 4648 + 0,504 * E_{GSFP}$. Korrelasjonen mellom de globale registreringene var $R^2=0,26$. Sammenhengen mellom **E** målt lokalt på prøvene kan uttrykkes ved Modell 3: $E_{LBD} = 6115 + 0,294 * E_{LSFP}$. Korrelasjonen mellom de to var $R^2=0,187$. Det var en signifikant sammenheng mellom **SFP** og **BD**, både ved lokal og global registrering.

På alle plankene ble det i tillegg registrert gjennomsnittlig årringbredde, densitet, fuktighet og kvist, både antall (**AKV**) og største kvist pr plank. Gjennomsnittlig fuktighet ved testing var 12,11 %, med standardavvik på 0,60. Gjennomsnittlig densitet på testmaterialet målt fra uttaket av de **SFP** var 350 kg/m³. Bruddfastheten på hele testmaterialet var 81 GPa.

AKV var den variabelen, etter densitet, som påvirket styrken til trelasten mest. Ved økende **AKV** i planken kan det derfor ventes at styrken reduseres betraktelig

Abstract

The purpose of this study has been to investigate if there was any relationship between MOE (**E**) measured on small clear samples (**SFP**) and utility dimensions (**BD**) of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.). I also wanted to investigate how much **SFP** meant according to wood defects as knot on the strength properties.

The material for the thesis was selected by the following criteria's: stands on good, medium and poor site index, trees with different social status (dominant, co-ruler and suppressed) different location in the tree (root, middle and top log) as well as inner and outer boards from the above mentioned log types. As far as possible there were used three replicates.

On both **BD** and **SFP** there was registered local (**L**) and global (**G**) **E**. All **BD** were tested on both sides, the sample was turn 180°, and the average of the two measurements was used for further analysis. After registering **E** on the boards, a number of **SFP** where cut out in two different sites on each board.

Average **E_G** registered on the **BD** was 12391 N/mm², and for **E_L** the average value was 10797 N/mm². On the **SFP** average **E_G** was 14701 N/mm², and average **E_L** was 14996 N/mm².

By using linear regression the relationship between **E_G** on **SFP** and **BD** could be expressed by Modell 4: $E_{GBD} = 4648 + 0.504 * E_{GSFP}$. The correlation between the global registrations were $R^2 = 0.26$. The Relationship between the **E_L** measurements could be expressed by Modell 3: $E_{LBD} = 6115 + 0.294 * E_{LSFP}$. The correlation between the local registrations were $R^2 = 0.187$. There was a statistical significant correlation between **SFP** and **BD** for both global and local registrations.

On all of the boards there were also registered an average annual ring width, wood density, moisture content, and both the largest and the number of knots (**AKV**). Average moisture content in the boards during the tests were 12,11 % with a standard deviation of 0,60.

Average wood density measured on the **SFP** was 350 kg/m³. The average bending strength on **SFP** was 81 GPa.

The number of knots by each decimeter of board was found to be the variable, except wood density, which affected the board strength the most.

Innholdsfortegnelse

1.	Innledning	7
1.1	Bakgrunn for oppgaven	7
1.2	Faktorer som påvirker styrken	8
1.2.1	Densitet.....	8
1.2.2	Årringbredde	8
1.2.3	Kvist	9
1.2.4	Ungdomsved.....	9
1.3	Problemstilling.....	10
1.4	Formål med oppgaven	10
2	Materiale og metode	10
2.1	Valg av prøvemateriale.....	10
2.1.1	Fordeling av prøvemateriale.....	12
2.2	Tørking og kondisjonering av prøvemateriale.....	13
2.3	Uttak av små feilfrie prøver.....	13
2.4	Merking av prøver	14
2.5	Testing	15
2.5.1	Symbolforklaring	15
2.5.2	Elastisitetsmodul på bruksdimensjoner.....	15
2.5.3	Lokal elastisitetsmodul (E_L).....	16
2.5.4	Global elastisitetsmodul (E_G):.....	17
2.6	Små feilfrie prøver.....	18
2.6.1	Elastisitetsmodul ved statisk bøyning	18
2.6.2	Statisk bøyefasthet (MOR).....	20
2.6.3	Densitet.....	21
2.6.4	Årringbredde	21
2.7	Analyser.....	22
3	Resultater	22
3.1	Fuktighet.....	22
3.2	Lokalitetsnivå	22
3.2.1	Densitet.....	24
3.3	Små feilfrie prøver.....	25
3.3.1	Densitet.....	26

3.3.2	Global elastisitetsmodul små feilfrie prøver	28
3.4	Kvist.....	29
3.5	Årringbredde.....	29
3.6	Sammenligning av bruksdimensjoner og små feilfrie prøver.....	30
3.7	Effekt av ulike variabler	32
4	Diskusjon	33
4.1	Grunnlagsmateriale.....	33
4.2	Sammenligning av resultater	34
4.3	Lokal elastisitetsmodul	35
4.4	Global elastisitetsmodul	36
4.5	Kvist.....	37
5	Konklusjon.....	37
6	Kilder	38

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Tre er i dag et av våre mest brukte byggematerialer enten det er i små eller store konstruksjoner, som konstruksjonsmateriale, utvendig kledning eller innvendig panel. Årlig produserer trelastindustrien i Norge mellom 2 og 2,5 mill m³ trelast (Foslie u.å.). Grunnen til at tre egner seg så godt som konstruksjonsmateriale er dets iboende egenskaper. Som Øvrum og Skaug skriver i Fokus på tre nr 43 (2007) er ”*tre et miljøvennlig og sikkert konstruksjonsmateriale som kan beregnes både statistisk og brannteknisk*”. Bruk av tre innendørs har dessuten vist seg å ha en positiv innvirkning på inne miljøet (Svanæs 2004).

Utfordringen med tre som konstruksjonsmateriale er at det ikke er et homogent produkt, det inneholder altså feil som i ulik grad påvirker styrken eller bruken av trelasten. Skal trelasten benyttes til innvendig kledning, møbler, vinduer eller lignende er det visuelle utseendet viktigst. Skal det imidlertid brukes som konstruksjonsvirke er styrken avgjørende. Hvor i treet planken er skjært ut i fra har også en innvirkning på bruksområdet, for eksempel øker andelen friskkvist oppover i treet. Dermed blir trelasten fra de høyere delene av treet mer egnet til visuell bruk som for eksempel panel og gulv.

Hvordan skogen skjøttes fra etablering til sluttavvirkning har betydning for tømmerkvaliteten, og dermed også trelasten. Kvaalen et al (2008) så på hvordan ulikt frømateriale hos gran (*Picea abies* (L.) Karst) utviklet seg under ulike forhold. De kom frem til at skogbehandlingen, helt i fra valg av plantemateriale, planteavstand, bonitet, høyde over havet etc. spiller inn på tømmerkvaliteten. Ved glisne bestand (treantall under 1200 til 1500 pr hektar) sank veddensiteten. Når trær vokser i glisne bestand øker som kjent også kvistdiameteren, og styrke egenskapene til trelasten blir dårligere (Kvaalen et al. 2008).

Det er mulig å forutsi styrkeegenskapene til trelasten ved en styrkesortering. I Norge gjøres dette i dag visuelt etter NS-INSTA 142:1992 eller maskinelt etter NS-EN 519. Ved en visuell styrkesortering etter NS-INSTA 142:1992 deles plankene inn etter 4 *sorteringsklasser* som har fått navnene T0, T1, T2 og T3, der T3 er den beste klassen. Ved visuell styrkesortering er kvist en av de viktigste sorteringsparametrene, dette gjelder både størrelse og plassering. Maskinell styrkesortering gjøres i dag ofte ved at det benyttes en maskin med navn Dynagrade. Dynagraden benytter seg av resonansen i planken samt lengden, og beregner styrken til trelasten ut i fra dette (Dynalyse AB 2009; Eikenes 2002). Maskinell styrkesortert virke deles inn i *styrkeklassene* betegnet C14 – C40, hvor C40 er sterkest. C står for conifer

(bartre), og tallet viser til den karakteristiske bøyefastheten for den aktuelle styrkeklassen (Eikenes 2002).

Ved testing av ulike styrkeegenskaper til tre, er det vanlig å benytte seg av **SFP**. På små feilfrie prøver er det mulig å registrere hvordan ulike vedegenskaper som for eksempler densitet, årringbredde, fiberhelling, fuktighet etc. gjør seg gjeldende med hensyn til styrken, uten innvirkning av andre virkesfeil. Dataene som man her har kommet frem til er senere blitt benyttet til å si noe om styrken til **BD**. Et spørsmål i denne sammenheng er imidlertid om man egentlig kan sammenligne disse verdiene, da noen er uten feil mens andre har varierende grad av feil i seg.

Treteknisk og Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) har et samarbeidsprosjekt som heter Wood Quality Predicting Systems (prosjekt nr 370017). Med utgangspunkt i dette prosjektet er det ytret et ønske om å se på sammenhengen mellom **SFP** og **BD** for gran. Etter å ha gjennomført litteratursøk innen fagfeltet og forhørt meg med en utenlandsk forskningsinstitusjon (Steiger 2010) har jeg ikke lyktes i å finne tidligere forskning på dette området. En slik studie vil derfor kunne bidra til ny kunnskap innenfor fagfeltet.

1.2 Faktorer som påvirker styrken

1.2.1 Densitet

Densitet er en av de mest undersøkte vedegenskapene. Årsaken til dette er den sterke korrelasjonen mellom styrke og densitet (Treteknisk 2010a). Densitet er definert som masse eller vekt pr volumenhet, og uttrykkes gjerne i gram/cm^3 eller kg/m^3 . Det er flere faktorer som påvirker densiteten til trevirke. Flere av disse faktorene er knyttet til voksestedet, som for eksempel høyde over havet [m.o.h.], bonitet, tetthet i bestandet, breddegrad, fuktighet, vind, sollys og temperatur. Dette er alle faktorer som påvirker størrelsen og tykkelsen av celleveggene, og dermed densiteten. Densiteten kan variere mye innen treet, da cellestrukturen varierer med plassering i treet (Bowyer et al. 2003; Vadla 2007), men variasjonen oppover i treet er liten for gran (Sonderegger et al. 2008; Treteknisk 2010a). Jyske et al (2008) har sett på hvordan densiteten varierer innen treet hos gran, og funnet at variasjonen mellom årringene står for mellom 11- 27 % av den totale variasjonen til densiteten.

1.2.2 Årringbredde

Densiteten til nåletrær er i prinsippet ikke relatert til vekstraten, men til andelen sommerved i årringen. Veden som dannes tidlig i vekstsesongen har tynne cellevegger og store hulrom,

mens sommerveden som dannes senere i vekstsesongen har tykke cellevegger og små hulrom. Da tidlig- og sommerved har ulik cellestruktur vil trær med store årringer, som har en stor andel tidligved, ha lavere styrke enn trær med mindre årringer, og høyere prosentandel av sommerved (Weider & Skogstad 1999). Jyske et al (2008) fant at variasjonen i densitet mellom årringene kunne være så mye som 49 - 80 %, og det var da minst variasjon mellom tidlig- og sommerved i årringene nærmest margen.

Det er allment kjent at trær som vokser på lavereliggende og gode boniteter har stor tilvekst, og dermed også store årringer. Samtidig vil trær som vokser i høyereliggende soner på dårlige boniteter ha lavere tilvekst, og dermed mindre årringer. I lavereliggende strøk vil vekstsesongen være lengre enn i høyere strøk, som følge av klimatiske årsaker, og det vil dermed bli en forskjell i andelen sommerved som dannes. For samme årringbredde er det normalt høyere densitet i trær som har vokst i lavlandet sett i forhold til de fra høyereliggende områder.

1.2.3 Kvist

Kvist er den faktoren som vil påvirke styrken til trelast mest, uavhengig om det er en tørrkvist eller friskkvist. Når veden blir tvunget til å vokse rundt en kvist går fibre mer på tvers av vekstretningen, noe som vil svekke styrkeegenskapene betydelig (Øvrum & Skaug 2007). Kvist vil påvirke bøyefastheten til trevirke gjennom størrelse og ikke minst plassering i tverrsnittet på planken (Weider & Skogstad 1999). Dette blir det tatt hensyn til i den visuelle styrkesorteringen NS-INSTA 142.

1.2.4 Ungdomsved

Andelen ungdomsved i treet vil innvirke på styrken fordi den har andre anatomiske, kjemiske, fysikalske og mekaniske egenskaper enn veden som dannes lengre ut i fra margen. Hos gran finner man gjerne ungdomsved fra margen og 15- 20 årringer utover. Ser man på et lengdesnitt gjennom hele treet vil denne sonen danne en sylinder (Weider & Skogstad 1999). Grunnen til at styrken i ungdomsved er lavere enn for modenved er at ungdomsvedcellene er mye kortere enn de i modenveden. For uten lengden er også oppbygningen av cellene annerledes, og en høy andel av cellene er tynnveggede, noe som igjen påvirker densiteten. Det er også en mindre andel sommerved i ungdomsveden (Bowyer et al. 2003).

1.3 Problemstilling

Med utgangspunkt i den overnevnte bakgrunnen lyder problemstillingen for denne oppgaven som følger:

”Hva kan små feilfrie prøver si om egenskapene til bruksdimensjoner og hvor mye betyr de i forhold til virkesfeil som kvist?”

1.4 Formål med oppgaven

Ved å ta ut **SFP** fra flere steder i planken, bør det være mulig å sammenligne elastisitetsmodulen på bruksdimensjonene med de små feilfrie prøvene. Selv om bruksdimensjonene inneholder en varierende grad av feil, vil også densiteten i trevirket variere noe med hensyn til hvor i treet planken er tatt (Bowyer et al. 2003; Vadla 2007). Densiteten er en av de viktigste variablene med hensyn til styrke på trelast. Man kan derfor tenke seg at styrkeegenskapene til de små feilfrie prøvene vil variere, og dermed gi et bedre bilde av styrken til planken totalt sett.

Formålet med denne oppgaven er å se om det er noen sammenheng mellom elastisitetsmodul målt på bruksdimensjoner og på små feilfrie prøver. For å få til dette er det også nødvendig å se på de ulike kjente faktorene som påvirker styrken til trelasten både på tre- og bestandsnivå.

2 Materiale og metode

1.1 Valg av prøvemateriale

Prøvematerialet stammer fra Audun Øvrum sitt doktorgradsarbeid (Øvrum 2008), som var en del av SSFF- prosjektet (”Norsk trevirke som råstoff – Verdiskapningspotensial og industrielle muligheter”). SSFF – prosjektet hadde som formål å forbedre utnyttelsen og foredlingen av norske virkesressurser. Dette skulle gjøres gjennom å få økt kunnskap om virkesegenskaper. Det skulle utarbeides et sortiment og logistikksystem for tre- og treforedlingsindustrien, slik at råstoffet i størst mulig grad skulle tilpasses sluttproduktet (Treteknisk 2010b). For mer informasjon om SSFF- prosjektet henvises det til <http://www.treteknisk.no>. Granmaterialet i denne oppgaven stammer fra fire lokaliteter i Brandbu (60°25'21"N 10°30'12"Ø), Norge (jf. Tabell 1). De fire ulike lokalitetene ligger i ulike høydelag. Materialet er i utgangspunktet selektert for å se på forekomsten av gankvist og krokete virke som en effekt av toppbrekk. Alt materiale er hentet innenfor en radius på 10 kilometer. Det er lagt vekt på å belyse variasjonen i tømmeret i et område som et middels stort norsk sagbruk får tømmeret sitt fra. Alle bestand er naturlig forynget og hogstmodne ved

avvirkningstidspunktet (Øvrum et al. 2008). Alderen for hver lokalitet er oppgitt som en gjennomsnittsalder med standardavvik i parentes (jf. Tabell 1).

Tabell 1. Oversikt over bestand brukt i undersøkelsen

Lokalitet	Bonitet	Høyde [m.o.h.]	Skogkvalitet	Alder (stdav) [år]
Lushaugen	G11	770	Dårlig	119 (15)
Olavrud	G20	350	God	102 (16)
Runnen	G14	470	God	117 (9)
Svera	G11	630	Dårlig	100 (27)

I denne masteroppgaven har jeg valgt å avgrense meg til kun å se på gran. Dette for å begrense den nødvendige mengden datamateriale. Plankene har samme identitet som i Øvrum sitt materiale. Av den grunn er det mulig å spore prøvene helt tilbake til det enkelte tre, hvor det ble hogd og under hvilke forhold det har vokst opp. Ved å benytte seg av dette materialet, er en stor mengde informasjon tilgjengelig.

Ved utvelgelse av prøvemateriale skulle de enkelte plankene oppfylle følgende krav:

- Bonitet (høy/middels/lav)
- Sosial status (herskende/medherskende/undertrykt)
- Type stokk (rot/topp)
- Inner- og ytterplank
- Tre gjentak

Teoretisk sett ender vi da opp med prøver fra 27 trær ($3*3*3$) som gir ca 108 planker ($3*3*2*2*3$), som igjen skulle gi opptil 864 ($108*8$) små feilfrie prøver. Ved utvelgelse av prøvemateriale fra datagrunnlaget viste det seg imidlertid at det ikke var mulig å oppfylle alle kriteriene som ble satt opp over. Materialet ble derfor redusert til 75 planker. Videre under sortering av plankene viste det seg også at det ikke var mulig å finne tre av plankene. Det totale antall planker i mitt prøvemateriale endte derfor på 72. Etter sortering ble plankene pakket og transportert til Treteknisk, hvor trefuktigheten ble målt ved ankomst.

Utvalget av prøvematerialet er et såkalt stratifisert, stokastisk utvalg. Stokastisk stammer fra gresk og betyr tilfeldig (Løvås 2004). Stratifisering er en metode for å sikre seg at det utvalgte materialet får god spredning på egenskapen og blir så representativt som mulig (Løvås 2004). Materialet er valgt ut på grunn av sine egenskaper, og ikke bare tilfeldig fra databasen. Verdiene som ble målet på de ulike prøvene blir da tilnærmet tilfeldig, innen utfallsrommet, og dermed stokastiske.

2.1.1 Fordeling av prøvemateriale

Tabell 2. Fordeling av materiale på de ulike egenskapene

Type tre – bonitet H40 – type plank	Fordeling planker		
	innerplank	ytterplank	Totalt
Herskende - H11 - rot - inner og ytter	4	3	7
Herskende - H11 - topp - inner og ytter	1	0	1
Herskende - H14 - rot - inner og ytter plank	1	3	4
Herskende - H20 - rot - inner og ytter plank	3	3	6
Herskende - H20 - topp - inner og ytterplank	4	1	5
Herskende - H14 - midt - ytterplank	2	1	3
Herskende - H14 - topp - inner og ytter plank	2	1	3
Medhersk - H14 - topp - inner og ytter	2	0	2
Medhersk - H11 - rot - inner og ytter	3	1	4
Medhersk - H11 - topp - inner og ytter	2	0	2
Medhersk - H14 - rot - inner og ytter	3	1	4
Medhersk - H20 - rot - inner og ytterplank	3	3	6
Medhersk - H20 - topp - inner og ytterplank	4	0	4
Undertrykt - H11 - topp - inner og ytter	3	0	3
Undertrykt - H14 - rot - inner og ytter	3	3	6
Undertrykt - H14 - topp - inner og ytterplank	4	0	4
Undertrykt - H20 - rot - inner og ytter	3	0	3
Undertrykt - H20 - topp	3	0	3
Undertrykt - H11 - rot - inner og ytter	2	0	2

Tabell 3. Fordeling av plankene i uttak fra treet

Rot		Topp	
innerplank	ytterplank	innerplank	ytterplank
25	17	25	2

I Tabell 2 kan man se en oversikt over hvordan planker i de ulike kategoriene er fordelt ut i fra utvalgsriteriene. Som man kan se i Tabell 3 er det en overvekt av innerplank i prøvematerialet. Innerplank er definert som plank nærmest margin, enten det er skjært to eller

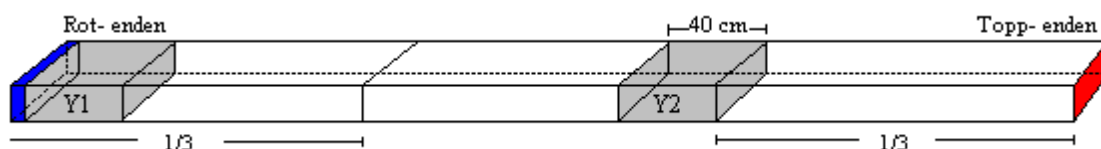
flere planker fra stokken (Øvrum 2008). Fra stokker med liten dimensjon vil man naturlig nok ofte bare få to planker. Dette er også årsaken til hvorfor det er få ytterplank i toppstokkene.

2.2 Tørking og kondisjonering av prøvemateriale

Plankene som hadde ligget ute under pressenning hadde svært varierende fuktighet, og ble lagt til tørking på Treteknisk. Etter ca to måneder ble fuktigheten målt igjen, og det viste seg da at de fleste plankene holder ca. 12 % fuktighet. Prøvene ble da plassert i konstant klima med 65 % relativ luftfuktighet og 20 °C, slik at trefuktigheten stabiliserte seg på ca 12 %. Plankene ble liggende ca. en måned i konstant klima før testingen startet.

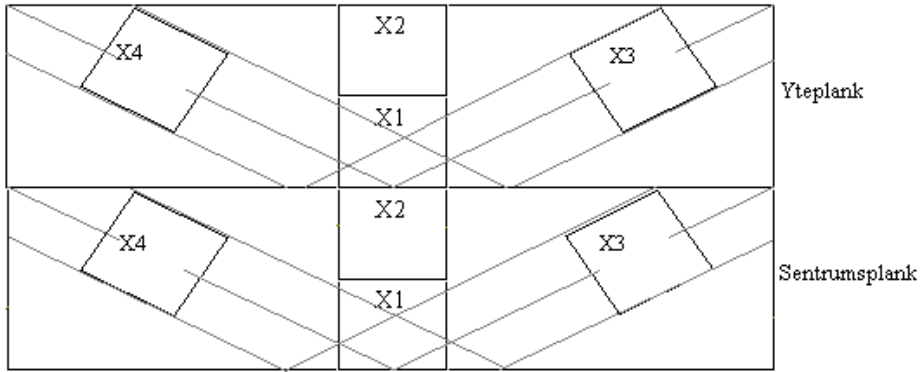
2.3 Uttak av små feilfrie prøver

Fra hver planke ble det tatt ut en prøve fra rotenden, så pass langt inn at eventuelle tørkesprekker ble unngått. Videre ble det tatt ut en prøve med lengde på 400 mm øverst i den midterste tredjedelen (se Figur 1). Det ble også tatt ut 340 mm til små feilfrie prøver etter SKANORM 1 (Kučera 1992) og 60 mm til densitet og fuktighetsprøver. Totalt var det mulig å ta ut opptil $108 \cdot 4 = 432$ små feilfrie prøver, men etter utskjæring og sortering av de små feilfrie prøvene endte det med 274 prøver.



Figur 1. Prøveuttak fra bruksdimensjoner med posisjons- og fargemerking.

Fra hver av de to uttakene ble det tatt ut fra tre til fire små feilfrie prøver. Disse ble laget i henhold til SKANORM 1, punkt 6.1- 6.3, med tverrsnittsdimensjon $20 \cdot 20 \text{ mm}^2$ og lengde 340 mm (Kučera 1992). Prøvene ble, som Figur 2 viser, tatt ut slik at årringene blir stående mest mulig parallelt med en sidekant.

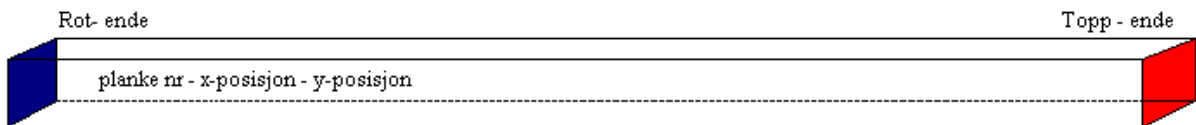


Figur 2. Skjematisk tegning av prøveuttak med posisjonsmerking i x-planet. Margens flatside er ned.

2.4 Merking av prøver

Alle plankene og de små feilfrie prøvene ble merket med rød farge i toppen og blå i bunnen. Det ble merket med rødt i den enden som var nærmest toppen av treet, og blått i den enden som var nærmest rot-enden. Videre ble de små prøvene merket med: planke id – x-posisjon – y-posisjon

eks: 168d – 2 – 1, som vist i Figur 3.



Figur 3. Skjematisk tegning av feilfri prøve med prøve nr og fargemerking.

2.5 Testing

2.5.1 Symbolforklaring

Tabell 4 og Tabell 5 gir en oversikt over forkortelser som er brukt i henholdsvis formler, modeller og teksten generelt.

Tabell 4. Oversikt over forkortelser brukt i formler og tekst med symbol og enhetsverdi

Symbol	Forklaring	Enhet
w	fuktighet	%
m_w	masse ved den fuktigheten (w) prøven har hatt i testtiden	gram
m_1	masse i absolutt tørr tilstand	gram
a_w	dimensjon ved den fuktigheten (w) prøven har hatt i testtiden	cm
b_w	prøvens dim. ved den fuktigheten prøven har hatt i testtiden	cm
l_w	prøvens dim. ved den fuktigheten prøven har hatt i testtiden	cm
V_w	prøvens volum ved den fuktigheten prøven har hatt i testtiden	cm ³
E_w	elastisitetsmodul ved statisk nedbøying	N/mm ²
F	differansen mellom belastningene F_2 og F_1	N
l	avstanden mellom opplagringspunktene	cm
b	prøvens dimensjon i radialretningen (bredde)	mm
h	prøvens dimensjon i tangentialretningen (høyde)	mm
f	nedbøying deformasjonen beregnet som differansen mellom middelerdiene ved belastningsnivåene F_2 og F_1	mm
F_{maks}	bruddbelastningen	N
h_r	den reelle høyden på prøven, snitt av 3 målinger	mm
b_r	den reelle bredden på prøven, snitt av 3 målinger	mm
Δf	den relative endringen i kraft som er påført under testing	N
Δu	den relative endringen i deformasjon under testing av prøven	mm
ρ_w	densitet i testtiden	g/cm ³

Tabell 5. Oversikt over forkortelser brukt i teksten og formler/modeller

Full tekst	Forkortelse
Små feilfrie prøver	SFP
Bruksdimensjoner	BD
Global elastisitetsmodul	E_G
Lokal elastisitetsmodul	E_L
Global elastisitetsmodul på bruksdimensjoner	E_{GBD}
Lokal elastisitetsmodul på bruksdimensjoner	E_{LBD}
Global elastisitetsmodul på små feilfrie prøver	E_{GSFP}
Lokal elastisitetsmodul på små feilfrie prøver	E_{LSFP}
Antall kvist pr dm	AKV

2.5.2 Elastisitetsmodul på bruksdimensjoner

Testing av E_G og E_L på **BD** ble utført i henhold til NS-EN 408. Testoppsett er vist i Figur 4 og Figur 5. I de tilfellene dimensjonen og lengden plankene i prøvematerialet ikke tillot at

opplagringsavstanden tilsvarte 18 ganger høyden, slik det skal være i henhold NS-EN 408, ble lengste mulige avstand benyttet. Det eneste som ble holdt konstant var det midterste feltet (6 ganger høyden) og det lokale deformasjonsområdet (5 ganger høyden). Se Tabell 6 for testoppsett fra de ulike dimensjonene. Ved endring av testoppsettet er det viktig at de ulike avstandene mellom opplagrings- og belastningspunktene blir endret symmetrisk, slik at belastningen blir lik på begge sider. Det ble registrert både E_L og E_G på alle plankene.

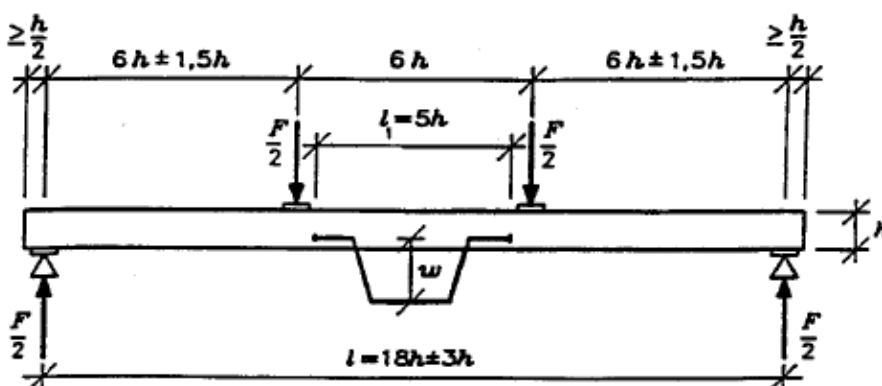
På alle plankene ble elastisitetsmodulen testet på begge sider, både E_G og E_L . I de videre beregningene er det snittverdien av de to målingene som er brukt.

Tabell 6. Oppsett for måling av elastisitetsmodul (E) på bruksdimensjoner (BD)

Dimensjon	Oppsett
100 mm	18 * høyden (6h/6h/6h)
125 mm	18 * høyden (6h/6h/6h) planker > 2meter
125 mm	15 * høyden (4,5h/6h/4,5h) planker \leq 2 meter
150 mm	12 * høyden (3h/6h/3h)
175 mm	11 * høyden (2,5h/6h/2,5h)
200 mm	9,5 * høyden (1,75h/6h/1,75h) planker \leq 2 meter
200 mm	18 * høyden (6h/6h/6h) planker > 2meter

2.5.3 Lokal elastisitetsmodul (E_L)

E_L ble registrert på midten av planken i en sone som tilsvarer 5 ganger høyden, se Figur 4. Målingen ble utført ved at to "linjaler" ble hengt på planken i nøytralaksen. Det ble benyttet to linjaler for å motvirke effekten av eventuelle vridinger av planker under testing (Solli 1996). Ved beregning av resultatene er det gjennomsnittsverdien som er benyttet.



Figur 4. Testoppsett for registrering av E_L (Solli 1996)

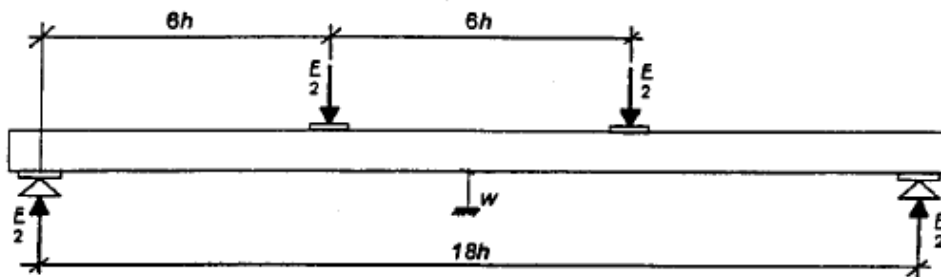
E_L ble beregnet etter Formel 1. Denne formelen gjelder kun for oppsett basert på 18 ganger høyden, som i Figur 4. På de dimensjonene som ikke dette oppsettet kunne benyttes på, ble formelen omregnet slik at den passet til det aktuelle oppsettet. På denne måten kunne de ulike verdiene sammenlignes. Det ble ikke tatt hensyn til skjærdeformasjoner.

Formel 1. Beregning av E_L .

$$\left(\frac{225 * h^3}{b_r * (h_r)^3} \right) * \left(\frac{\Delta f}{\Delta u} \right)$$

2.5.4 Global elastisitetsmodul (E_G):

E_G ble registrert over hele spennvidden til planken, etter testoppsettet vist i Figur 5. Nedbøyingen ble målt ved å benytte en deformasjonsgiver, som ble plassert midt under sentrum av planken ved hjelp av en kraftig elektromagnet med en stabil ”arm” (se Bilde 1). Deformasjongiveren ble plassert så rett som mulig, slik at mulige feilkilder til målingen ble så liten som mulig.

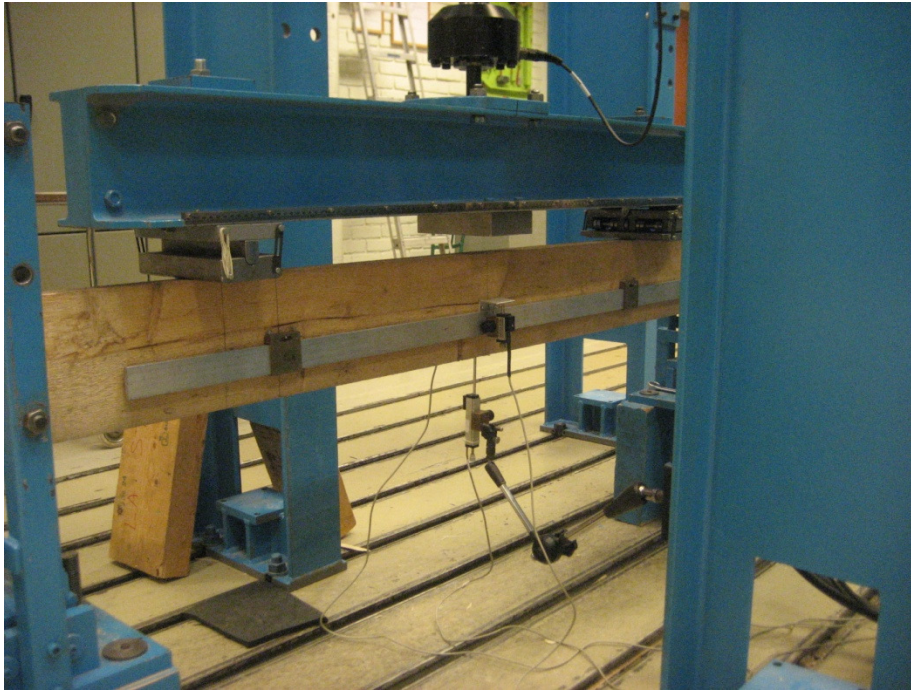


Figur 5. Testoppsett for registrering av E_G (Solli 1996)

E_G på **BD** ble beregnet etter Formel 2. Som for E_L ble formelen omregnet når testoppsettet ikke tilsvarte 18 ganger høyden. Slik at verdiene kunne sammenlignes. Det ble ikke tatt hensyn til eventuelle skjærdeformasjoner i beregningene.

Formel 2. Global elastisitetsmodul på bruksdimensjoner (E_{GBD})

$$\left(\frac{2484 * h^3}{b_r * (h_r)^3} \right) * \left(\frac{\Delta f}{\Delta u} \right)$$



Bilde 1. Testoppsett for testing av E_L og E_G på BD (Foto: C. Studsrød)

2.6 Små feilfrie prøver

Fra **BD** ble det tatt ut SFP i henhold til SKANORM 1, punkt 6.1- 6.3. Uttaket er som vist i Figur 1 og Figur 2. Prøvene skulle være helt uten kvist og andre virkesfeil, samt ha skarp kant på samtlige sider. Prøvene ble målt med skyvelær i tangential- og radialretning med nøyaktighet på 0,1 mm. Til elastisitetsmodul og statiskbøyefasthet ble det benyttet prøver med dimensjon $20*20*340 \text{ mm}^3$. Til måling av densitet og fuktighet ble det benyttet prøver med dimensjon $20*20*25 \text{ mm}^3$.

På hver prøve ble følgende data registrert:

- Densitet
- Fuktighet
- Elastisitetsmodul (E) ved statisk bøyning
- Bøyefasthet (MOR)

2.6.1 Elastisitetsmodul ved statisk bøyning

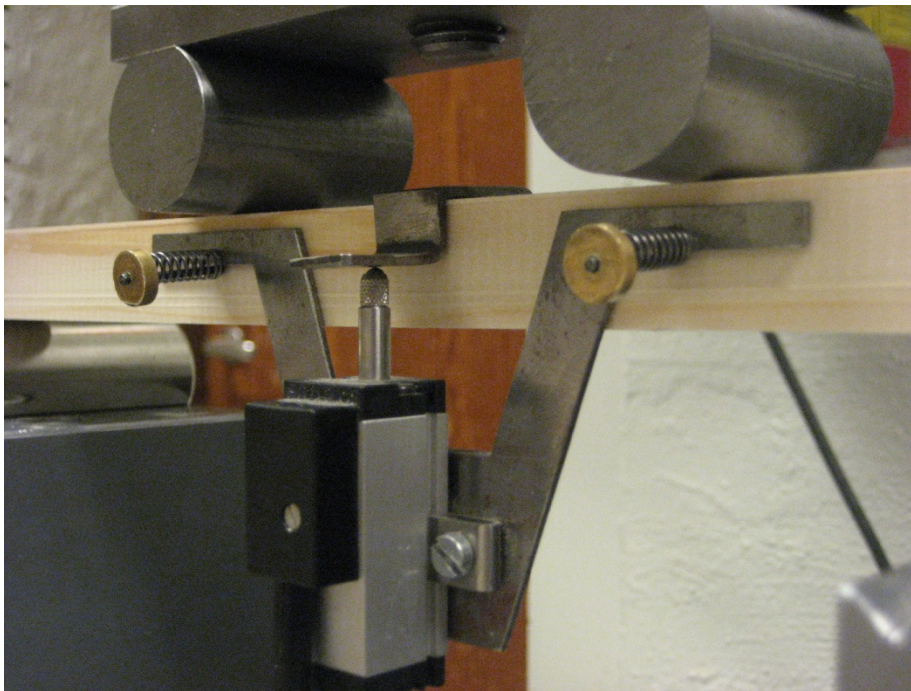
Testingen av E-modul ble gjort i henhold til SKANORM 8 (Kučera 1992). Avstanden mellom opplagringspunktene (l) var 300 mm (15 ganger høyden), og avstanden mellom belastningspunktene var 100 mm (5 ganger høyden). Test oppsettet er vist på Bilde 3.

Kraftområdet for beregning av elastisitetsmodul var mellom 170 N (F_1) og 425 N (F_2). Hastigheten var 2,5 mm/min. Hele prosessen ble gjentatt seks ganger, og elastisitetsmodulen (E_w) ble regnet ut for hver enkelt kjøring etter Formel 3. Til slutt ble det beregnet et gjennomsnitt av de fire siste målingene. Dette ble gjort for å minimere effekten av tilfeldige utslag under testing. Testen ble utført i treets tangentielle retning (med stående årringer).

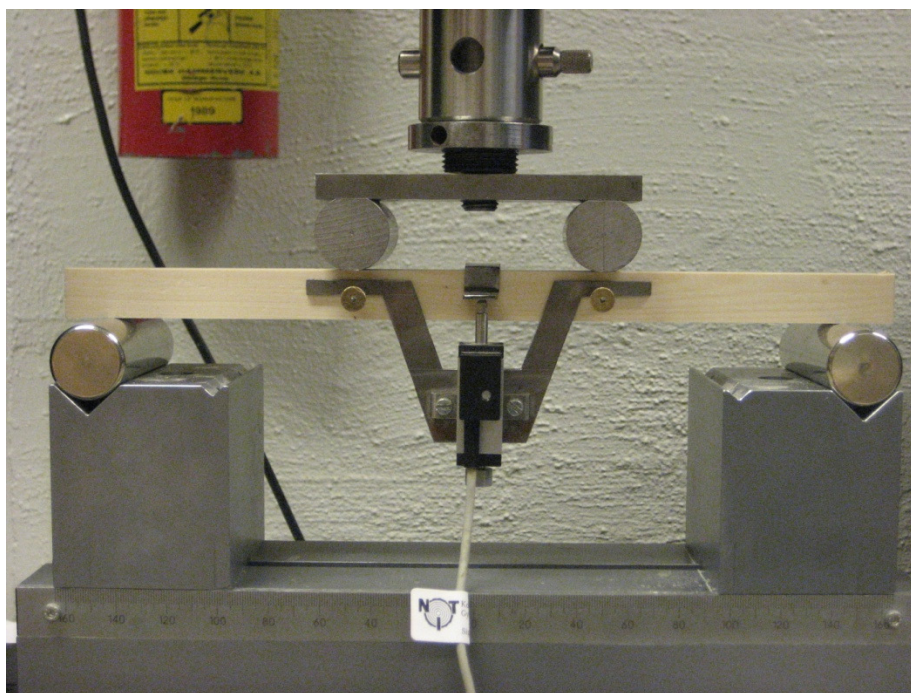
Da det er svært små utslag under testingen (rundt 0,6 mm), er det viktig at måleinstrumentene er ordentlig innfestet. Det ble benyttet fjærer på spikrene som holder fast "linjalen", dette for å forhindre at den skal røre på seg under testing, se Bilde 2.

Formel 3. Beregning av elastisitetsmodul (E_w)

$$E_w = \frac{F * l^3}{36 * b * h^3 * f}$$



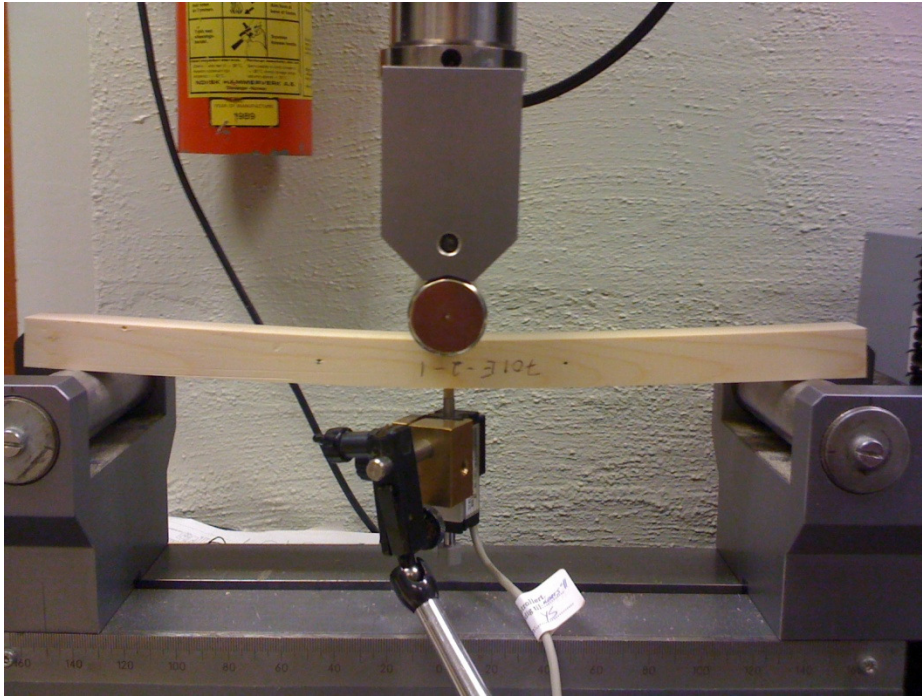
Bilde 2. Innfesting av "linjal" på SFP ved testing av MOE (Foto: C. Studsrød).



Bilde 3. Testoppsett ved 4 punkts elastisitetsmodul (Foto: C. Studsrød).

2.6.2 Statisk bøyefasthet (MOR)

Prøvene var de samme som ved testing av elastisitetsmodul, med dimensjon $20 \times 20 \times 340 \text{ mm}^3$. Testing av statisk bøyefasthet skjedde i henhold til SKANORM 7 (Kučera 1992), punkt 7.2 og 7.3. Avstanden mellom opplagringspunktene var 300 mm og lasten ble påført midt mellom opplagringspunktene, som vist i **Feil! Fant ikke referansekilden..** Lasten ble påført prøvestykket med en jevnt økende last med en hastighet på 6 mm/min, helt til brudd ble oppnådd. Maksimal kraft (F_{maks}) før brudd ble registrert, og statisk bøyefasthet ble beregnet etter Formel 4.



Bilde 4. Testoppsett for statisk bøyefasthet (Foto: C. Studsrød).

Formel 4. Statisk bøyefasthet (σ_{bw})

$$\sigma_{bw} = \frac{3 * F_{maks} * l}{2 * b * h^2}$$

2.6.3 Densitet

Prøvene ble laget i henhold til SKANORM 1 (Kučera 1992), punkt 6.1 og 6.3, med dimensjon 20*20*25 mm³. Årringbredden bør ikke være mer enn 4 mm og prøven skal ikke ha mindre enn fem årringer. Prøvene ble målt med skyvelær i tangential, radial og lengderetning med en nøyaktighet på 0,1 med mer, slik at volum på prøven kunne beregnes. Prøvene ble videre veid med en nøyaktighet på 0,01 g. Densiteten ved testtiden ble beregnet i henhold til SKANORM 4 (Kučera 1992), punkt 7.1 og 8.1. etter

Formel 5.

Formel 5. Densitet i testtiden (ρ_w)

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w * b_w * l_w} = \frac{m_w}{V_w}$$

2.6.4 Årringbredde

På alle plankene ble det registrert årringbredde etter SKANORM 2, punkt 7.2. Målingene ble foretatt på en skive som var skåret ut av planken. Registrering av årringbredden ble gjort ved

at en rett linje ble trukket opp vinkelrett på årringene. Deretter ble et antall hele årringer (n) telt opp og bredden (l_0) målt med skyvelær, med en nøyaktighet på 0,01 mm. Resultatet ble beregnet etter Formel 6.

Formel 6. Gjennomsnittlig årringbredde ($\mathring{A}_{\bar{x}}$)

$$\mathring{A}_{\bar{x}} = \frac{l_0}{n}$$

2.7 Analyser

I oppgaven er det benyttet et signifikansnivå på 0,05. Alle statistiske analyser og modelleringer er gjort ved hjelp av statistikkprogrammet JMP 8 (SAS Institute Inc 2008).

3 Resultater

3.1 Fuktighet

Gjennomsnittlig fuktighet på alle prøvene under testing var 12,11 % med standardavvik på 0,60. Da fuktigheten til prøvene lå svært nær 12 % har jeg valgt å ikke korrigere verdiene i undersøkelsen for fuktighet.

3.2 Lokalitetsnivå

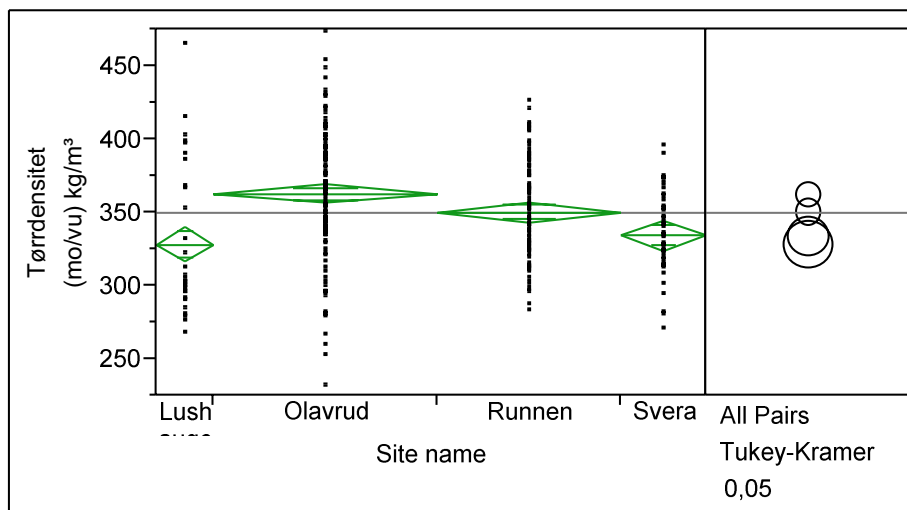
Ved hjelp av en variansanalyse med en påfølgende Tukey-Kramer analyse for hver enkelt lokalitet, kan man se hvordan resultatene varierer mellom de ulike lokalitetene. Resultatene er gjengitt i Tabell 7. I denne tabellen er det også tatt med noen bestandsdata for å bidra til å forklare verdiene som er funnet. Under tabellen er det en oversikt over hvilke verdier det er signifikante forskjeller mellom på lokalitetsnivå. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig. Største verdi er uthevet og minste verdi er satt i kursiv.

Tabell 7. Resultatoversikt fordelt på de fire ulike lokalitetene materialet kommer fra. Verdier med ulike bokstaver er signifikant forskjellig. Største verdi er uthevet og minste verdi er satt i kursiv.

	Svera	RMSE	Runnen	RMSE	Olavrud	RMSE	Lushaugen	RMSE	Gj.snitt	RMSE	DF	F-verdi	p>F
Bonitet	11		14		20		11						
Høyde [m.o.h.]	630		470		350		770						
Densitet	334,40 ^C	26,34	351,78 ^B	31,75	368,03^A	40,29	324,64 ^C	46,98	353,94	36,69	3- 432	23,35	0,0001
Gj.snittlig årringbredde	1,81 ^B	0,37	1,74 ^B	0,48	2,09^A	0,47	1,60 ^B	0,26	1,89	0,45	3- 434	24,62	0,0001
E _{L,BD}	10 024 ^C	3 384	11 265 ^B	2 573	12 074^A	3 053	8 060 ^D	1 465	11 133	2 814	3- 434	27,33	0,0001
E _{G,BD}	10 911 ^B	2 777	12 684 ^A	2 957	13 028^A	2 394	10 421 ^B	1 953	12 384	2 616	3- 434	18,38	0,0001
E _{G,SFP}	13 340 ^B	1 812	14 420 ^B	1 561	16 843^A	2 919	11 883 ^C	1 772	15 126	2 339	3- 292	56,55	0,0001
Bøyefasthet	76,57 ^B	7,31	81,85 ^B	10,25	89,41^A	13,33	68,56 ^C	13,75	83,22	11,97	3- 293	33,75	0,0001
AKV	0,66 ^A	0,26	0,44 ^C	0,18	0,51 ^B	0,21	0,74^A	0,16	0,53	0,20	3- 344	32,22	0,0001
Største kvist snitt	21,46 ^{AB}	9,85	18,66 ^B	7,98	22,08 ^A	7,07	22,72^A	5,79	20,77	7,68	3- 344	5,65	0,0009
Avsmalning	13,52 ^B	4,98	9,56 ^C	3,80	11,99 ^B	4,64	24,34^A	13,47	12,66	5,94	3- 434	71,75	0,0001

3.2.1 Densitet

Ved hjelp av en variansanalyse med en påfølgende Tukey-Kramer test, kan man se hvordan variasjonen er mellom de ulike bestandene, og hvilke det er signifikant forskjell mellom. Ved økende høyde over havet ble tørrdensiteten i materialet signifikant lavere. Mellom de ulike bonitetsklassene steg densiteten signifikant, med økende bonitet. I Figur 6 kan man se hvordan densiteten varier mellom de ulike lokalitetene. Både Lushaugen og Olavrud hadde relativt stor spredning, med over 200 kg/m³ mellom høyeste og laveste registrerte verdi (DF=3- 432, F=23,35, p>F=0,0001).



Figur 6. Variansanalyse av tørrdensitet på de ulike lokalitetene

3.3 Små feilfrie prøver

Tabell 8 og Tabell 9 gir en oversikt over de resultatene som er funnet ved å gjennomføre en variansanalyse med påfølgende Tukey–Kramer test for de ulike variablene på de ulike posisjonene i planken. Tabell 8 gjengir resultatene fra Y posisjon 1 og Tabell 9 gjengir resultatene fra Y posisjon 2. Verdier merket med ulik bokstav er signifikant forskjellig. Største verdi er uthevet og minste verdi er satt i kursiv.

Tabell 8. Resultatoversikt små feilfrie prøver (SFP) ved Y posisjon 1. Verdier med ulik bokstav er signifikant forskjellig (innen samme y posisjon). Største verdi er uthevet og minste i kursiv.

Y posisjon 1						
	X posisjon	Verdi	Std. feil	DF	F-verdi	F>p
Densitet	1	<i>343,07^B</i>	5,02	3- 212	2,8	0,0409
	2	349,20 ^{AB}	7,9			
	3	361,49^A	4,42			
	4	356,73 ^{AB}	4,15			
E_L	1	<i>13 475^A</i>	964	3- 146	2,16	0,0948
	2	15 257 ^A	1 195			
	3	16 307^A	587			
	4	15 772 ^A	543			
E_G	1	<i>13 609^A</i>	689	3- 146	1,9	0,1359
	2	15 153 ^A	855			
	3	15 476^A	420			
	4	15 251 ^A	388			
Bøyefasthet	1	<i>77,56^A</i>	2,95	3- 146	2,64	0,0157
	2	78,52 ^A	3,66			
	3	86,10^A	1,79			
	4	83,37 ^A	1,66			

Tabell 9. Resultatoversikt små feilfrie prøver (SFP) ved Y posisjon 2. Verdier med ulik bokstav er signifikant forskjellig (innen samme y posisjon). Største verdi er uthevet og minste i kursiv.

Y posisjon 2						
	X posisjon	Verdi	Std. feil	DF	F-verdi	F>p
Densitet	1	342,10 ^B	5,82	3- 216	4,31	0,0056
	2	336,14 ^B	8,57			
	3	363,88^A	5,1			
	4	357,68 ^{AB}	4,54			
E _L	1	14 197 ^A	1 005	3- 142	0,72	0,5437
	2	15 230 ^A	1 260			
	3	15 865^A	667			
	4	15 715 ^A	609			
E _G	1	14 087 ^A	575	3- 142	2,4	0,0706
	2	14 265 ^A	720			
	3	15 243 ^A	381			
	4	15 666^A	348			
Bøyefasthet	1	76,93 ^A	2,99	3- 143	2,81	0,0416
	2	78,27 ^A	3,75			
	3	84,67 ^A	1,96			
	4	85,59^A	1,81			

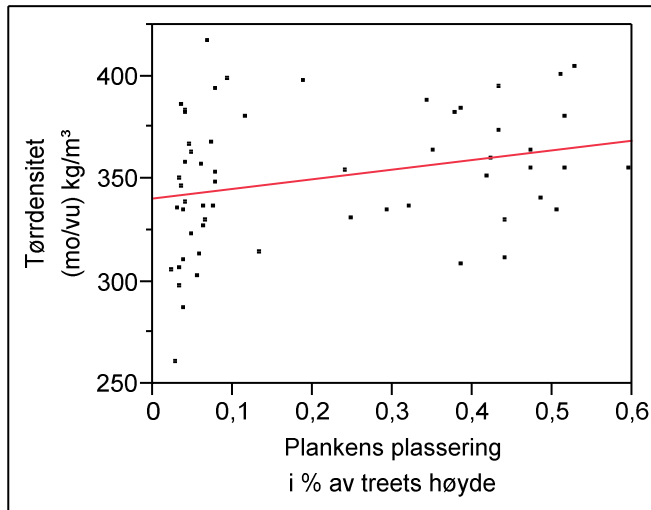
Det ble ikke funnet noen signifikant forskjell mellom de ulike Y-posisjonene (1 og 2) i planken.

3.3.1 Densitet

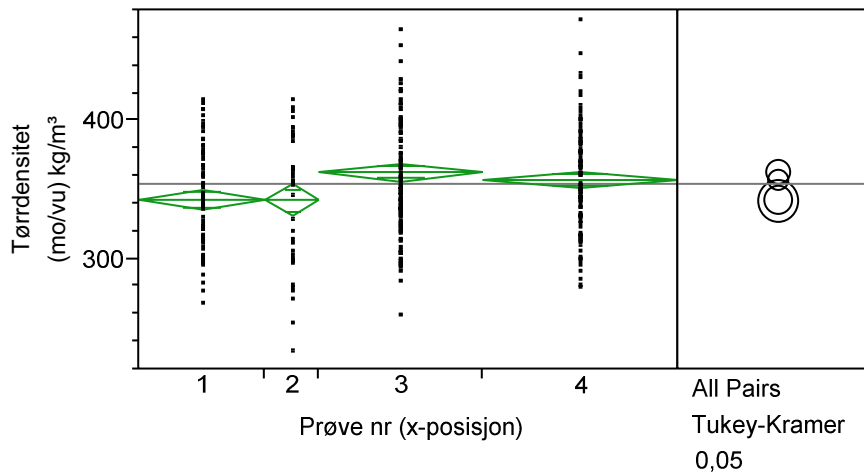
Densitet økte signifikant med økende høyde over bakken, se Figur 7 (DF=1- 56, F=4,68, $p>F=0,0347$, RMSE= 32,05 kg/m³, R²=0,08).

Modell 1: Tørrdensitet (mo/vu) kg/m³ = 344,3 + 45,18*Plassering i % av treets høyde.

Dette samsvarer med tidligere studier som viser at det er en svak økning i densiteten med økende høyde (Jyske et al. 2008).



Figur 7. Viser sammenhengen mellom prøvens plassering i % av treets høyde og tørrdensiteten.



Figur 8. Endring i densitet og prøvens posisjon.

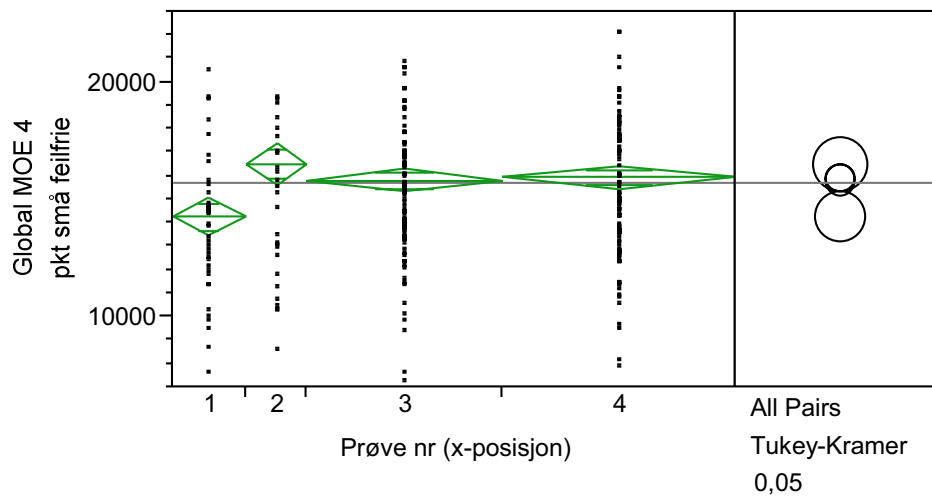
Det ble funnet signifikant forskjell i tørrdensitet mellom hvor prøven var plassert i forhold til marginen, se Figur 8. Tukey-Kramer test viste en signifikant forskjell mellom prøve 3 og 4 og prøve 1 som var plassert nærmest marginen ($3-1$ og 2 $p < 0,0005$ og $p < 0,0143$ og $4-1$ $p < 0,0160$) ($DF=3-432$, $F=6,87$, $p > F=0,0002$). Dette samsvarer med teorien om ungdomsved og densitet.

Tabell 10 viser resultatet fra en multippel analyse som estimerer tørrdensiteten når treet er valgt ut tilfeldig (mixed modell) ($DF=1$, $R^2=0,609$, $RMSE=25,8 \text{ kg/m}^3$). Prøvens x-posisjon er den variabelen som reduserer residualspredningen mest. Videre gir plassering i % av treets høyde, DBH og DBH/ mean DBH en signifikant reduksjon av residualspredningen. Totalt reduserte modellen 60,9 % av residualspredningen.

Tabell 10. Endring i densitet når man tar hensyn til plassering i % av treets høyde, x posisjon, DBH og DBH/ mean DBH

Term	Estimate	Std Error	DFDen	t Ratio	Prob> t
Intercept	377,77	27,54	24,06	13,72	<,0001
Plassering i % av treets høyde	50,54	14,55	19,21	3,47	0,0025
Prøve nr (x-posisjon)	5,60	1,09	394	5,13	<,0001
DBH	0,72	0,33	20,38	2,21	0,0389
DBH/mean DBH	-244,64	94,73	20,62	-2,58	0,0175

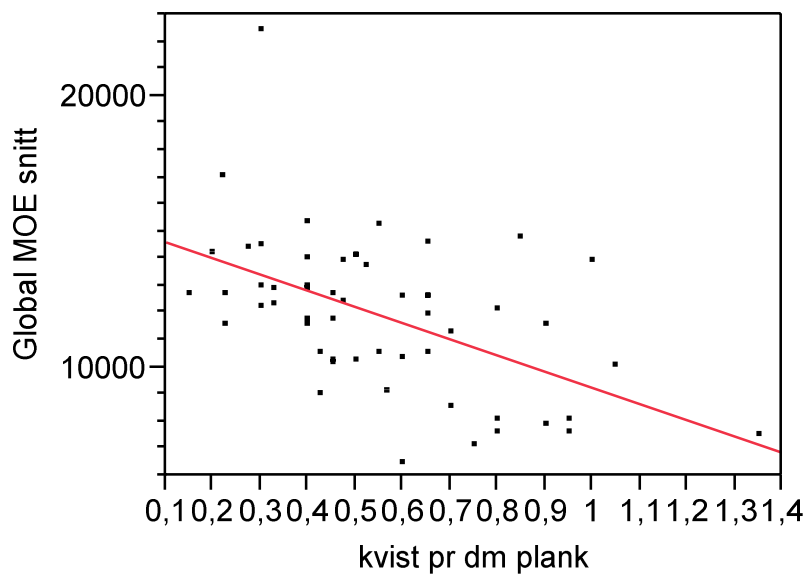
3.3.2 Global elastisitetsmodul små feilfrie prøver



Figur 9. Endring i E_G på SFP ved de ulike x – posisjonene i planken.

Når E_{GSFP} mellom de ulike x-posisjonene ble veid mot plassering i % av treets høyde i en variansanalyse med påfølgende Tukey-Kramer test (jf. Figur 9), ble det funnet en signifikant forskjell mellom posisjon 1 og 2,3 og 4 (henholdsvis $p < 0,0013$, $p < 0,0063$ og $p < 0,0022$) ($DF=3- 262$, $F=5,68$, $p > F=0,0009$).

3.4 Kvist

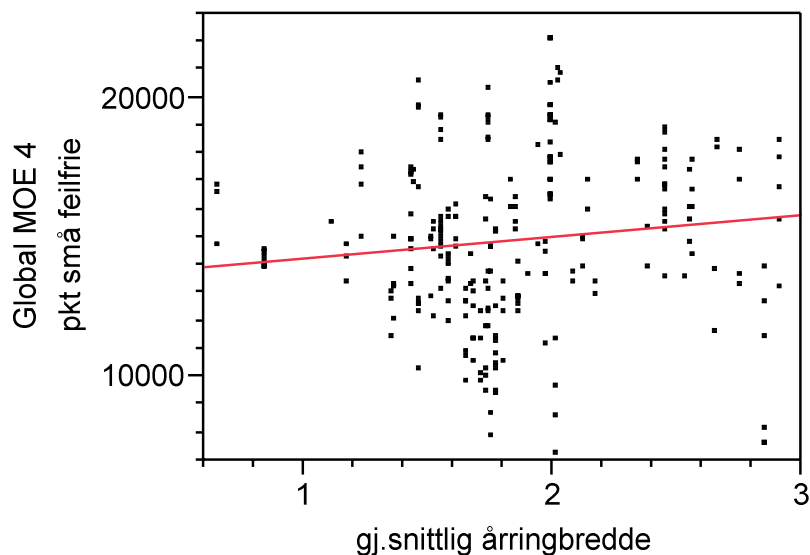


Figur 10. Sammenhengen mellom antall kvist og E_G på SFP.

Materialet ga signifikant sammenheng mellom AKV og E_G . Modellen er plottet i Figur 10 (Modell 2). (DF=1- 318, F=93,45, $p>F=0,0001$, RMSE=2521 N/mm², $R^2=0,227$).

Modell 2: $E_G = 15227 - 5976 \cdot \text{AKV}$.

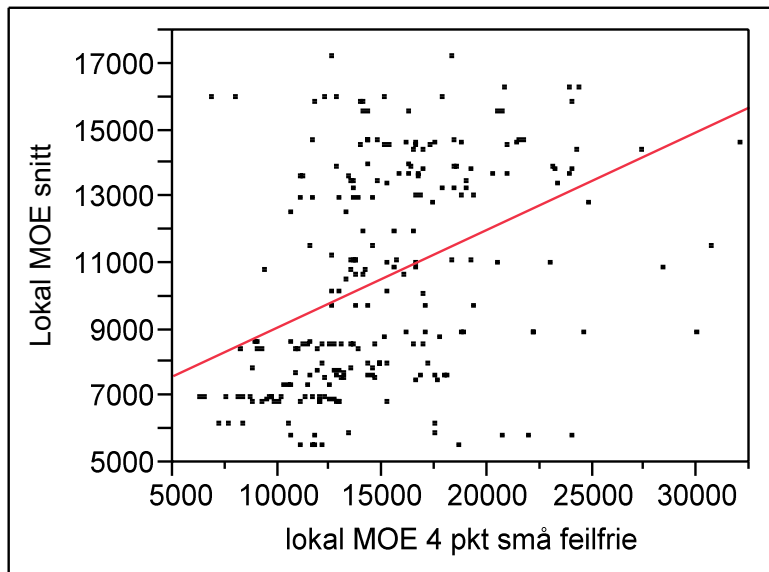
3.5 Årringbredde



Figur 11. Sammenhengen mellom gjennomsnittlig årringbredde og E_{GSFP} .

Materialet ga også signifikant økende E_G med årringbredde. Modellen er plottet i Figur 11. R^2 var imidlertid lav (DF=1- 294, F=6,98, $p>F0,0087$, $R^2=0,02$, RMSE=2896 N/mm²).

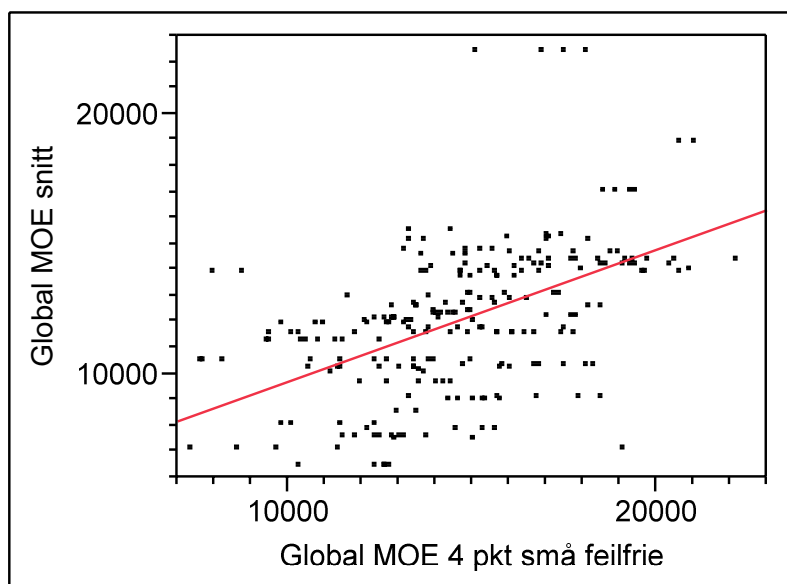
3.6 Sammenligning av bruksdimensjoner og små feilfrie prøver



Figur 12 Sammenhengen mellom E_L målt på SFP og BD

Sammenheng mellom E_L målt på **SFP** og **BD** var også signifikant. Modellen er plottet i Figur 12 (Modell 3). R^2 mellom disse to var 0,187 (DF=1- 294, F=80,87, $p>F=0,0001$, $R^2=0,187$, RMSE=2875 N/mm²).

$$\text{Modell 3: } E_{LBD} = 6115 + 0,294 * E_{LSFP}$$



Figur 13 Sammenhengen mellom E_{GSFP} og BD

Sammenhengen mellom E_{GBD} og SFP var også signifikant, se Figur 13 (Modell 4). R^2 ble funnet til 0,26. Spredningen rundt regresjonslinjen var noe mindre for denne sammenhengen enn for E_L (Figur 12). (DF=1-237, F=83,15, $p>F=0,0001$, RMSE=2463 N/mm², $R^2=0,256$)

$$\text{Modell 4: } E_{GBD} = 4648 + 0,504 * E_{GSFP}$$

Tabell 11. Endring i E_{GBD} når man tar hensyn til E_{GSFP} , tørrdensitet og kvist pr dm plank.

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	6 591,94	1 682,82	3,92	0,0001
E_{GSFP}	0,18	0,08	2,14	0,0332
Tørrdensitet (mo/vu) kg/m ³	13,82	5,84	2,37	0,0189
AKV	-4 076,65	746,00	-5,46	<,0001

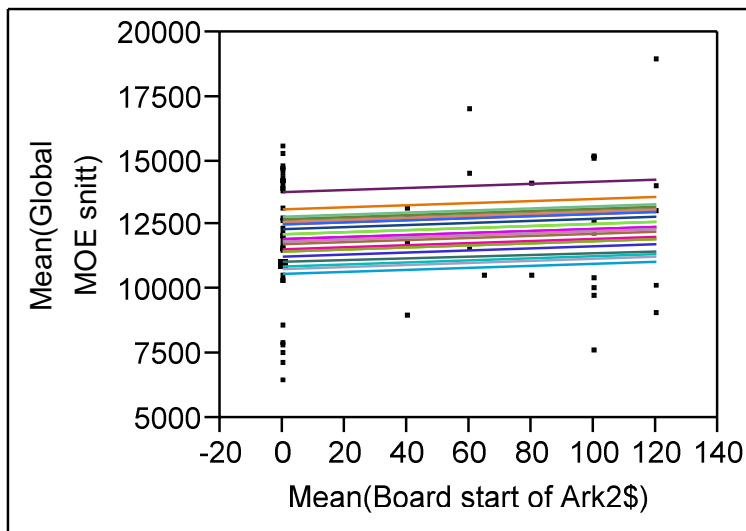
Tabell 11 viser resultatene fra en multipl regressjonsanalyse som estimerer E_{GBD} . AKV er den variabelen som reduserer residualspreddingen mest. Videre gir tørrdensitet og E_{GSFP} på de små feilfrie prøvene en signifikant reduksjon av residualspreddingen. Totalt reduserte modellen 35,3 % av residualspreddingen. (DF=3- 217, F=39,43, $p>F=0,0001$, $R^2=0,353$, RMSE=2260 N/mm²).

Tabell 12. Endring i E_{LBD} når man tar hensyn til E_{LSFP} , tørrdensitet og kvist pr dm plank.

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	3 068,77	1 477,41	2,08	0,039
Tørrdensitet (mo/vu) kg/m ³	21,64	4,28	5,05	<,0001
kvist pr dm plank	-5 235,44	656,54	-7,97	<,0001
E_{LSFP}	0,15	0,04	4,05	<,0001

Tabell 12 viser resultatene fra en multipl regressjonsanalyse som estimerer E_{LBD} . AKV er den variabelen som reduserer residualspreddingen mest. Videre gir tørrdensiteten og E_{LSFP} en signifikant reduksjon av residualspreddingen. Totalt reduserte modellen 56,3 % av residualspreddingen. (DF=3- 217, F=93,37, $p>F=0,0001$, $R^2=0,563$, RMSE=1983 N/mm²)

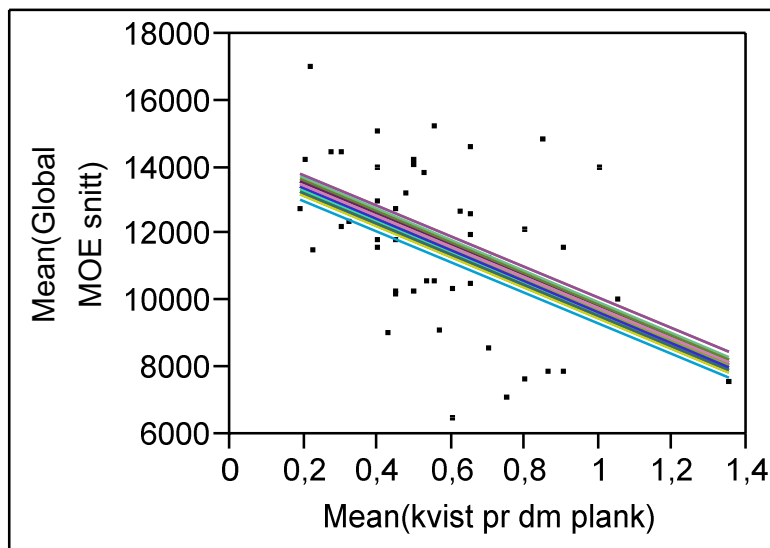
3.7 Effekt av ulike variabler



Figur 14. Sammenhengen mellom plankens plassering i treet og forventet E_G .

$R^2 = 0,3855$ $p < 0,0001$ signifikant

Når planken blir tatt ut høyere i treet øker den forventede globale elastisitetsmodulen (jf. Figur 14).



Figur 15. Sammenheng mellom AKV plank og middel elastisitetsmodul (E).

AKV plank viser seg å være den variabelen som har mest å si for styrken til trelasten bortsett fra densiteten i dette materialet. Ved hjelp av en multipel regresjonsanalyse hvor flere

variabler ble tatt med, fikk man et bilde av hvor mye de ulike betyr for styrken til trelasten. Som man kan se av Tabell 13 gir densitet størst forklaringsgrad og deretter kvistmengde og største kvist. En økning i AKV plank vil føre til en betydelig lavere E_G . Hele modellen gir en R^2 på 0,36 og RMSE på 2276 N/mm^2 ($DF=3-342$, $F=64,23$, $p>F=0,0001$). Av Figur 15 kan man også lese at spredningen i verdiene i dette datasettet ligger innad i treet og ikke mellom de ulike trærne.

Tabell 13. Endring i E_{GBD} når man tar hensyn til AKV, største kvist og densitet

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	6 767,36	1 359,38	4,98	<,0001
AKV	-3 857,85	634,79	-6,08	<,0001
Største kvist	-72,70	16,90	-4,30	<,0001
Tørrdensitet (mo/vu) kg/m ³	25,11	3,53	7,12	<,0001

4 Diskusjon

4.1 Grunnlagsmateriale

Materialet som er brukt i analysene ble i utgangspunktet samlet med det formål å belyse variasjoner i trelastkvalitet som resultat av tilfeldige feil på grunn av blant annet av toppbrekk som følge av snø. Materialet er samlet fra noen veldig dårlige bestand, relativt høyt over havet på dårlige boniteter, og noen gode bestand fra lavereliggende områder på god bonitet. De ulike statistiske resultatene som framkommer vil derfor ikke representere vanlige norske bestand.

I testmaterialet øker densiteten med økende bonitet, men avtar ved økende høyde. Avtagende densitet ved økende høyde stemmer overens med tidligere studier (Vadla 2008). Når det gjelder økende densitet ved høyere bonitet, spiller faktorene ved bestand og voksested inn. Høibø og Vestøl (2010) viser til at det er funnet høyere densitet i gran som har vokst i Oslo regionen (59°N), enn i gran som er vokst lengre nord i Norge ($65,5 - 69,5^\circ\text{N}$) etter å ha justert for årringbredde. Denne variasjonen i densitet kan være med på å forklare variasjonen i densiteten i dette materialet, da jeg ikke har korrigert for årringbredde.

De aktuelle bestandene ble opprinnelig plukket ut for å belyse variasjonen i et område. Bestandene ligger derfor som ytterpunkter med hensyn til skogkvalitet og bonitet. Disse

ytterpunktene i samspill med den overnevnte variasjonen av densitet som følge av voksested, kan muligens bidra til at jeg i min undersøkelse finner noe atypiske densitetsverdier. Men da de dårlige bestandene ligger i høytliggende strøk og de gode bestandene ligger i lavlandet, er resultatene muligens ikke så atypiske likevel.

Videre er ikke densitet nødvendigvis knyttet til veksthastighet hos bartrærne, men til prosentandelen sommerved av årringen (Bowyer et al. 2003). I undersøkelsene er det også funnet at styrken øker med årringbredden. Dette har trolig sammenheng med at densiteten økte jo høyere boniteten var. Materialet fra de høyereliggende områdene hadde lav gjennomsnittlig årringbredde, men likevel relativt lav densitet. Trærne har derfor trolig stått relativt glissent i forhold til trærne på høyere bonitet. Disse resultatene avviker fra den vanlige oppfatningen om at jo høyere boniteten er, jo større årringbredde kan man forvente å finne i bestandet. Imidlertid er ikke resultatene uventet da, det i min undersøkelse ikke er korrigert for årringbredde.

Tabell 10 viser hvordan densiteten i min undersøkelse endrer seg som følge av ulike faktorer i et tilfeldig utvalgt tre. Her ser vi at det er x-posisjonen i treet som betyr mest for variasjonen i densiteten innad i treet. Deretter forklarer prøvens plassering i % av trets høyde og til slutt DBH og DBH/ mean DBH resten av variasjonen. At prøvens plassering i treet er viktig er naturlig som følge av teorien om ungdomsved (jf. avsnitt 1.2.4). Først etter prøvens plassering i treet kommer faktorer som belyser trets sosiale status og oppvekstforhold inn. Trær med stor DBH kan forventes å være herskende trær, eller trær som har vokst på gode boniteter. Forholdstallet DBH/ mean DBH sier noe om trets sosiale status, altså hvordan det er størrelsesmessig i forhold til de andre trærne i bestandet. Totalt sett viser derfor min undersøkelse at mye av variasjonen til densitet og styrkeegenskaper ligger innad i treet, og ikke mellom trærne.

Undersøkelsen viser hvor mye testmaterialet betyr for hvilke resultater man kommer frem til. Er testmaterialet tatt ut med hensyn til andre egenskaper enn det testes for, må man ha dette i mente ved konkludering av resultatene i testen. Selv om grunnlagsmaterialet i denne oppgaven ikke er ideelt for akkurat denne undersøkelsen, mener jeg likevel at undersøkelsen fremskaffer fornuftige sammenhenger.

4.2 Sammenligning av resultater

Ved å sammenligne standardene for de ulike testene som er benyttet i denne undersøkelsen fant jeg at det ikke er samsvar mellom de ulike testmetodene, blant annet med hensyn til

oppsett (se tabell 14 for hvilke tester som er brukt). Denne ulikeheten i standarder kan gjøre det problematisk å sammenligne resultater fra tester som er benyttet for å si noe om SFP og tester som er benyttet for å si noe om BD. Det virker som det er to ulike ”verdener” når det gjelder testmetoder som blir benyttet på SFP og BD. Problemet med sammenligning oppstår fordi det ikke er samme forhold mellom lengde og høyde på prøvestykket i de ulike teststandardene. Resultatene fra de ulike testene er derfor ikke direkte sammenlignbare (Glasø 2010). Ved testing av BD skal spennvidden mellom opplagringspunktene tilsvare 18 ganger høyden, mens det for SFP er 15 ganger høyden. Det som imidlertid er likt mellom oppsettet for BD og SFP er avstanden mellom lastpunktene, den er 1/3 av spennvidden for begge oppsett. I denne oppgaven har jeg likevel valgt å følge de ulike standardene som er gitt for testing av SFP og BD. Dette fordi det er det som etter min mening gir mest valide resultater. Det å beholde det opprinnelige testoppsettet gjør også resultatene fra undersøkelsene sammenlignbare med tilsvarende tester.

Tabell 14 Oversikt over standarder for ulike tester

	MOE		MOR		
	3 punkt	4 punkt		3 punkt	4 punkt
		Lokal	Global		
Planker/bjelker		NS-EN 408	NS-EN 408		(NS-EN 408)
Små feilfrie prøver (SFP)		ISO 3349	Ønskelig	ISO 3133	

Resultatene i undersøkelsen viser at det er en signifikant sammenheng mellom verdiene som er registrert på BD og på de SFP. Mye av årsaken til dette ligger trolig i at densiteten har så stor forklaringsgrad for styrken som den har. Det viser seg at det er bedre korrelasjon mellom de globale verdiene enn for de lokale verdiene, noe som kan være et resultat av hvordan testoppsettet for henholdsvis global og lokal registrering er lagt opp. Da den lokale testingen, som nevnt tidligere, bare foregår over ett lite felt på planken er det liten sannsynlighet for at de SFP er tatt ut i testsonen. På BD blir derimot de SFP tatt ut i testsonen, da den er over hele spennvidden for global testing. Dermed er det også mer trolig at testverdien global elastisitetsmodul har bedre korrelasjon, enn lokal elastisitetsmodul.

4.3 Lokal elastisitetsmodul

Lokal elastisitetsmodul testes over et lite område midt på planken, og det er svært ofte liten nedbøying, gjerne under 1 mm (Boström & Holmqvist 1999). Dette gjør at målingene blir

svært utsatte for eventuelle målefeil. For å forsøke å redusere eventuelle målefeil har jeg i min undersøkelse testet nedbøyning på begge side plankene (prøven ble snudd 180°). Et gjennomsnitt av disse to verdiene ble benyttet i de videre beregningene.

På noen av de plankene som er korte og høye, se testoppsett i Tabell 6, vil eventuelle skjærdeformasjoner kunne påvirke resultatene. Dette ble det ikke tatt høyde for i beregning av resultatene.

Ved testing av E_L kan resultatene variere noe, da de er avhengige av om det er virkesfeil i testområdet. Dette er en av ulempene med E_L i forhold til E_G som tester over hele planken, og derfor ikke er like utsatt for slike tilfeldig feil i testområdet (Solli 1996). Alle **BD**, er som tidligere nevnt, testet på begge sider (prøven ble snudd 180°). Det viste seg at det kunne være store forskjeller på de to målingene (marg orientert ulik retning), og at det dermed var fornuftig å benytte seg av en gjennomsnittsverdi. Ettersom jeg i denne undersøkelsen skulle se på sammenhengen mellom elastisitetsmodulen på **SFP** og **BD**, var det viktig at elastisitetsmodulen på planken var så riktig som mulig. På denne måten bør verdiene som sammenlignes på **SFP** og **BD** bli riktigere, enn om tilfeldig feil i testsonen skulle gjøre seg gjeldende i stor grad. En viss effekt av feil i testsonen vil det naturlig nok bli, da denne konsekvent er plassert midt på planken, og ikke flyttet til områder med lite feil eller lignende. Noe som ofte blir gjort i lignende testing. I denne oppgaven ble ikke de små feilfrie prøvene tatt konsekvent ut i fra den lokale midtsonen (5 ganger høyden). Det er derfor mulig at bare en liten del av prøvematerialet er tatt ut i sonen som det sammenlignes med, mens mye er tatt ut utenfor testsonen. Dette gjenspeilte seg også, som nevnt tidligere, i korrelasjonen mellom **BD** og **SFP**.

4.4 Global elastisitetsmodul

Ved testing av E_G testes styrken over ett større område av planken og nedbøyningen er derfor mye større enn ved lokal måling. Dette gjør at testen like sensitiv for feilmålinger som ved lokal måling (Solli 1996). Som resultatene i undersøkelsen viser (jf. Figur 13) er sammenhengen mellom de globale målingene i denne undersøkelsen ikke så spredt som de lokale målingene. I og med at den globale testen foregår over hele spennvidden, kommer også feltet som de små feilfrie prøvene er tatt ut i fra med. Av den grunn bør det bli riktigere å sammenligne disse verdiene, i forhold til de lokale målingene. Dermed vil egenskapen til den delen av planken som de små feilfrie prøvene er tatt ut ifra gjøre seg gjeldende for den totale styrken til planken.

4.5 Kvist

Antall kvist pr desimeter plank (**AKV**) viser seg å være svært avgjørende for styrken til planken, og er mer betydningsfullt enn største kvist. I sorteringsreglementet til NS-INSTA 142 blir det ikke tatt hensyn til mengden eller antall kvist, bare størrelse og type kvist. Det som det imidlertid blir tatt hensynt til er kvistgrupper, og man kan vel kanskje si at dersom man har mange kvistgrupper har man også generelt mye kvist i planken. Kvistgrupper er kjent for å påvirke styrken til trelasten betydelig.

Hvor høyt i treet planken er tatt ut betyr mye for kvisten, både med størrelse, antall og type kvist. En stor kvist vil gi et stort område med fiberforstyrrelse, og dermed redusert styrke.

Fra planker med svært mye kvist var det vanskelig å få ut mange **SFP**, hvis noen i det hele tatt. Det ble dermed vanskelig å representere dem i utvalget når man skulle sammenligne **SFP** og **BD**.

5 Konklusjon

Problemstillingen for denne oppgaven har vært som følger:

Hva kan små feilfrie prøver si om egenskapene til bruksdimensjoner og hvor mye betyr de i forhold til virkesfeil som kvist?

Testene i min undersøkelse viste at det var en signifikant sammenheng mellom elastisitetsmodul målt på **BD** og på **SFP** tatt fra de samme plankene.

Ved undersøkelse av ulike variabler på plankenivå er det densitet og **AKV** som forklarer mest av variasjonen og styrken til planken, men også målte verdier på **SFP** har en signifikant betydning for **BD**. **AKV** er den variabel som reduserer styrken mest. Densiteten er som kjent en viktig faktor for styrken til trelast, noe som også viste seg i min undersøkelse. Den store årsaken til sammenhengen mellom **SFP** og **BD** er trolig densiteten. Planker som har høy densitet vil nødvendigvis også gi små prøver med høy densitet, og dermed høy styrke, dersom det ikke er mye kvist som påvirker styrken negativt.

6 Kilder

- Boström, L. & Holmqvist, C. (1999, c1999). *1st International RILEM Symposium on Timber Engineering: Stockholm, Sweden, September 13-14, 1999*, Cachan: RILEM Publications. XIX, 838 s. s.
- Bowyer, J. L., Shmulsky, R. & Haygreen, J. G. (2003). *Forest products and wood science: an introduction*. Ames, Iowa: Iowa State Press. XIV, 554 s. s.
- Dynalyse AB. (2009). *Dynagrade*. Tilgjengelig fra: <http://www.dynagrade.com/tech.htm> (lest 28/04).
- Eikenes, B. (2002). *Virkesomsetning og virkeskvalitet: teknisk fagskole, fordjupningsområde skogbruk*. Oslo: Gan. 304 s. s.
- Foslie, M. (u.å.). *trelastindustri*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://www.snl.no/trelastindustri> (lest 28/04).
- Glasø, G. (2010). *Personlig meddelelse*. Oslo (Diskusjon testoppsett februar 2010).
- Høibø, O. A. & Vestøl, G. I. (2010). Modelling the variation in modulus of elasticity and modulus of rupture of Scots pine round timber. *Canadian Journal of Forest Research* (40): 668-678.
- Jyske, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. (2008). Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica* (42(3)): 435-455.
- Kučera, B. (1992). *Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre*. [Ås]: Skogforsk. 104 s. s.
- Kvaalen, H. H., Steffenrem, A., Johnsen, Ø., Meland Edvardsen, Ø., Johnskås, R. & Øyen, B. H. (2008). Foretlet plantematerialer og skjøtsel. *Norsk skogbruk* (6-08): 3 s.
- Løvås, G. G. (2004). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. Oslo: Universitetsforl. XIII, 489 s. s.
- SAS Institute Inc. (2008). *JMP 8*. Cary, North Carolina, USA.
- Solli, K. H. (1996). Modulus of elasticity - local or global values: Norsk treteknisk institutt.
- Sonderegger, W., Mandallaz, D. & Niemz, P. (2008). An investigation of the influence of selected factors on the properties of spruce wood. *Wood Science and Technology*, 42 (4): 281-298.
- Steiger, R. (2010). *Forespørsel om tidligere forskning*. Oslo (e-mail 13.04.10).
- Svanæs, J. (2004). *Fokus på tre nr 8 - Tre og miljø*. 8. Oslo: Trefokus.
- Treteknisk. (2010a). Prediction models for basic density in Norway spruce. Oslo: Treteknisk.
- Treteknisk. (2010b). *Treteknisk/Forskning/SSFF-prosjektet/Målsetting*. Oslo. Tilgjengelig fra: www.treteknisk.no (lest 12.01).

-
- Vadla, K. (2007). Sitkagran - utbredelse, egenskaper og anvendelse. Ås: Skog og landskap.
- Vadla, K. (2008). *Virkesegenskaper hos bartrevirke fra forskjellige lokaliteter i nord-Norge - Densitet, avsmalning, bark og kjerneved*. Forskning fra skog og landskap. Ås, Norway: Norsk institutt for skog og landskap.
- Weider, I. & Skogstad, P. (1999). *Treteknisk håndbok*. Oslo: Norsk treteknisk institutt. 291 s. s.
- Øvrum, A. & Skaug, E. (2007). *Fokus på tre nr 43 - Konstruksjonsvirke*. Oslo: Norsk treteknisk institutt.
- Øvrum, A. (2008). *Grade yield in sawn timber of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.): modeling the effect of timber length, forest, tree and log variables*. Ås: Universitetet, UMB. 1 b. (flere pag.) s.
- Øvrum, A., Høibø, O. A. & Vestøl, G. I. (2008). Grade yield of sawn timber in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as affected by forest quality, tree size and cross-cutting length. PhD: 20.