

Fysiske og mekaniske egenskaper hos norsk gran og furu

– En aktivitet i SSFF-prosjektet

*Physical and mechanical properties in Norwegian spruce and pine
- An activity in the SSFF project*

Saksbehandler: Jan Bramming
Dato: September 2006

Sammendrag

Informasjon om kvalitetsnivå og kvalitetsvariasjoner er viktig for å sikre riktig råstoff av jevn kvalitet. I SSFF-prosjektet er det gjennomført en omfattende kartlegging av egenskaper av betydning for den generelle utnyttelsen av norsk gran og furu. Denne rapporten beskriver metoder for testing og gir de første resultatene av analysearbeidet gjort på test av små feilfrie prøver innsamlet i sydlige deler av Norge. De undersøkte egenskapene som omhandles er: Basisdensitet, statisk bøyefasthet, elastisitetsmodul, krymping og fibervinkel.

De første analysene viser at elastisitetsmodulen for gran er betraktelig høyere enn sammenlignbare verdier fra litteraturen. For andre mekaniske egenskaper, er det små forskjeller.

I denne undersøkelsen er det ikke funnet statistisk sikre sammenhenger mellom mekaniske egenskaper og prøvens plassering i x-retning (horisontalt) for gran. For furu ser det ut til at avstand fra marg til en viss grad kan forklare variasjon i mekaniske egenskaper, når man tar hensyn til y-posisjonen i det stående tre. Variasjon i krymping ser til en viss grad ut til å kunne forklares ut fra avstand til marg. For gran ser de mekaniske egenskapene ut til å øke fra rot mot topp, mens for furu er det en tendens til at verdiene avtar i lengderetningen. Hos furu finner man den høyeste volumkrympingen og krymping i tangentiell retning ved rotavskjær. Hos gran, derimot, finner man signifikant lavest krymping ved rotavskjær.

Stikkord:	Små feilfrie prøver, elastisitetsmodul, statisk bøyefasthet, densitet, krymping, fibervinkel, variasjoner mellom bestand, mellom trær og innen trær.
Keywords:	<i>Clear wood samples, bending strength, modulus of elasticity, density, shrinkage, fibre angle, variation between stands, between trees and within trees.</i>

Det er funnet god lineær sammenheng mellom basisdensitet og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,62$ for gran og $R^2 = 0,72$ for furu). Det er funnet at variasjon i elastisitetsmodul forklarer 48 % av variasjon i statisk bøyefasthet for gran og for furu forklares 63 % av variasjonen. Det er ikke funnet signifikante sammenhenger eller tydelige tendenser mellom mekaniske og fysiske egenskaper og fibervinkel. Sammenhengen mellom vedegenskaper og egenskaper på enkelttre- eller bestandsnivå er hver for seg generelt meget svak. Multippel regresjonsanalyse er forsøkt benyttet til å modellere mekaniske og fysiske egenskaper på gran. Det har vist seg at denne metoden er lite egnet til å forutsi vedegenskaper.

Analysearbeidet på materialet er ikke komplett. Denne rapport berører kun overflaten i det hav av muligheter som ligger i det store materialet som er innsamlet.

Summary

Information on quality level and quality variation is important to secure correct raw material with stable quality. In the SSFF project, there is carried out an extensive mapping of properties of significance to the general utilization of Norwegian spruce and pine. This report describes testing methods and provides the first results from the analyses made from tests of small clear wood samples collected in the southern parts of Norway. The examined properties treated are: Density, bending strength, modulus of elasticity, shrinkage and fibre angle.

The first analyses show that the modulus of elasticity for spruce is considerably higher than comparable values from the literature. For other mechanical properties, there are small differences.

In this investigation, there is not found any significant correspondence between mechanical properties and the sample's placement in the x-direction (horizontally) for spruce. For pine, it seems that the distance from pith to a certain extent may explain the variation in mechanical properties, when one allows for the y-position of the standing tree. Variation in shrinkage seems in some degree to be explained by distance to pith. For spruce, the mechanical properties seem to increase from root towards top, whereas for pine, there is a tendency that the values decrease in the longitudinal direction. For pine, the significant highest shrinkage of volume and shrinkage in tangential direction takes place at stump height. For spruce, however, one finds the significant lowest shrinkage at stump height.

There has been found good linear correspondence between density and static bending strength ($R^2 = 0.62$ for spruce and $R^2 = 0.72$ for pine). One has found that variation in modulus of elasticity explains 48 % of the variation in bending strength for spruce, for pine, 63 % of the variation is explained. There has not been found significant correspondence or clear tendencies between mechanical and physical properties and fibre angle. The correspondence between wood properties and properties on single tree or stand level is on its own generally very weak. Multiple regression analysis is tried used to model the mechanical and physical properties of spruce. It appears that this method is not very suitable for prediction of wood properties.

The analysis of the material is not complete. This report only touches the surface in the sea of opportunities that lies in the extensive material that has been collected.

Forord

SSFF-prosjektet "Norsk Trevirke som råstoff - verdiskapingspotensial og industrielle muligheter" er initiert av Skogbrukets og skogindustriens forskningsforening (SSFF). Det er et kompetanseprosjekt med brukerveiledning, der det også inngår gjennomføring av tre dr. gradsarbeider. Prosjektet skal danne grunnlag for en forbedret utnyttelse og foredling av norske virkesressurser. Tilpasning av råstoff til marked og sluttprodukt ut fra den antatte virkestilgang i de nærmeste 15-20 år står sentralt.

SSFF-prosjektet består av tre delprosjekter: SKOG, TRE og PAPIR, som alle har vært del av egenskapsundersøkelsene. Egenskaper av betydning for de tre hovedområdene er undersøkt på det samme materialet. Det er derfor mulig å analysere sammenhenger mellom skoglige egenskaper, vedegenskaper og fiberegenskaper.

I egenskapsundersøkelsene er det etablert et meget godt samarbeid mellom Norsk institutt for skog og landskap (Skog og Landskap), Papir- og fiberinstituttet (PFI) og Norsk Treteknisk Institutt (Treteknisk). Vi håper og tror at dette vil fortsette i fremtiden.

Ved Treteknisk har vi hatt meget god hjelp til testarbeidet. Tre tyske studenter har bidratt med betydelig arbeidsinnsats i form av test på mekaniske og fysiske egenskaper. Vi takker Andrea Dolle og Christian Wenzlow fra Fachhochschule Eberswalde og Christoph Wenderdel fra Fachhochschule Lippe und Höxter for innsatsen og hyggelig samvær under oppholdet i Norge!

SSFF-prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd, Skogtiltaksfondet, norsk treforedlingsindustri og Fondet for treteknisk forskning ved Treteknisk. Videre bidrar mange aktører innenfor skogbruk og skogbasert næring med en betydelig egeninnsats.

Oslo, september 2006

Jan Bramming
Saksbehandler

Audun Øvrum
Delprosjektleder TRE

Knut Magnar Sandland
Prosjektleder

Innhold

Sammendrag.....	3
Summary	5
Forord	6
1. Innledning og bakgrunn	8
2. Materiale.....	10
3. Metode.....	13
3.1 Preparering av prøver – mekaniske og fysiske egenskaper	13
3.2 Elastisitetsmodul	16
3.3 Statisk bøyefasthet	18
3.4 Basisdensitet	20
3.5 Krymping	20
3.6 Årringbredde	21
3.7 Fibervinkel	22
4. Resultater	25
4.1 Gran - hovedresultater	25
4.2 Furu - hovedresultater.....	27
4.3 Mekaniske og fysiske egenskaper – gran	30
4.4 Mekaniske og fysiske egenskaper – furu.....	31
4.5 Mekaniske og fysiske egenskaper – variasjon i x-retning.....	32
4.6 Mekaniske og fysiske egenskaper – variasjon i y-retning.....	35
4.7 Variasjon mellom enkelttrær og bestand.....	40
4.7.1 Gran	40
4.7.2 Furu.....	41
4.8 Modellering av mekaniske og fysiske egenskaper.....	42
5. Diskusjon.....	43
5.1 Variasjon i x- og y-retning	44
5.2 Variasjon mellom enkelttrær og mellom bestand	45
5.3 Korrelasjon mellom egenskaper	46
6. Konklusjon	47
7. Litteratur	49

1. Innledning og bakgrunn

Egenskapsundersøkelsene er et samarbeid mellom Norsk institutt for skog og landskap (Skog og Landskap), Papir- og fiberinstituttet (PFI) samt Norsk Treteknisk Institutt (Treteknisk). Prosjektet skal bidra til forbedret utnyttelse og foredling av norske virkesressurser. God og effektiv utnyttelse krever inngående kjennskap til råstoffet. Informasjon om kvalitetsnivå og kvalitetsvariasjoner er viktig for å sikre korrekt råstoff av jevn kvalitet.

I denne undersøkelsen er det gjennomført en omfattende kartlegging av egenskaper av betydning for den generelle utnyttelsen av norsk gran og furu. Tabell 1 gir oversikt over hvilke ved- og fiberegenskaper som er undersøkt, og hvilket institutt som har hatt ansvar for gjennomføring av undersøkelsen.

Tabell 1. Ved- og fiberegenskaper undersøkt i prosjektet.

	Treteknisk	Skog og Landskap	PFI
Årringbredde	x	x	
Densitet	x	x	x
Krymping (volum, tangentiell, radiell og longitudinal)	x		
Elastisitetsmodul	x		x
Bøyefasthet	x		
Fibervinkel	x	x	
Fiberlengde *			x
Fiberbredde *			x
Fibervegtykkelse *			x
Mikrofibrillvinkel *			x
Vedens pH *		x	
Sommervedandel		x	
*) Undersøkt på deler av materialet			

Innsamlingen av data er gjennomført på en slik måte at det i etterkant skal være mulig å sammenligne alle egenskaper med hverandre. De ulike egenskapene er undersøkt i de samme posisjoner på de samme trær. Et eget identifikasjonssystem har gjort det mulig å finne frem til vedens opprinnelse på hvert enkelt prøvestykke. Det betyr at alle ved- eller fiberegenskaper skal kunne knyttes til hverandre og til egenskaper på enkelttre- og bestandsnivå. Denne rapporten omhandler imidlertid kun de mekaniske og fysiske vedegenskaper undersøkt ved Treteknisk.

Tabell 2 viser hvilke egenskaper som er registrert eller undersøkt på de enkelte prøvetrær og bestand.

Tabell 2. Registrerte egenskaper på enkelttre- og bestandsnivå.

Egenskaper på enkeltrenivå	Egenskaper på bestandsnivå
- Sosial status (herskende, medherskende, undertrykt) - Alder - Høyde - Barkvolum - Barktykkelse - Avsmalning - Ovalitet - Avstand fra rotavskjær til definerte greingrenser	- Geografisk beliggenhet - Høyde over havet - Terrenghelning - Foryngelsesmetode (plantet eller naturlig foryngelse) - Tynnings- eller modent bestand - Bonitet - Tetthet - Bestandsalder

Databasen av egenskaper som er bygget opp er omfattende og unik i nordisk sammenheng. Det er ønskelig at den skal bli et nyttig verktøy for alle typer av norsk treforbrukende industri.

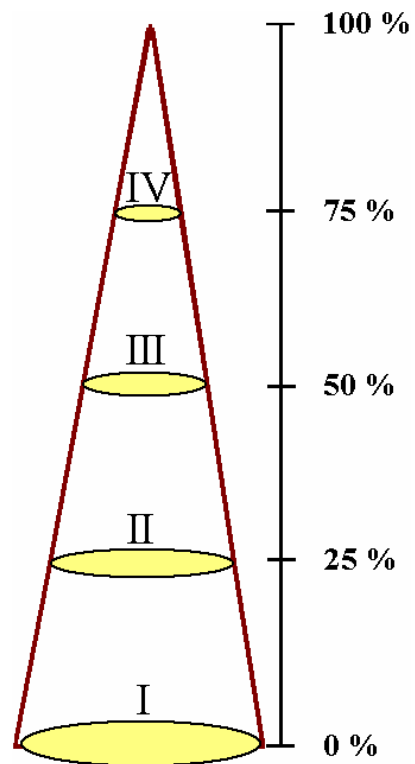
2. Materiale

Norsk institutt for skog og landskap har samlet inn materialet benyttet i prosjektet. Materialet består av gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*). Granmaterialet er innsamlet fra lavlandet på Østlandet, og furu er hentet fra dalstrøk på Østlandet og Sørlandet.



Figur 1. Område for materialuttak til egenskapsundersøkelsene.

Granmaterialet er tatt fra kultur- og naturskog, mens furumaterialet er innsamlet i naturskog. Det er samlet inn materiale fra 22 granbestand og 10 furubestand. Innen et representativt areal av hvert bestand (ca. 0,5 daa) ble 24 trær nummerert. Trærne ble så klavet i brysthøyde. Deretter ble trærne delt inn i tre grupper etter dimensjon, og man trakk ut to trær fra hver gruppe. Dette ga 6 trær pr. bestand og en lik fordeling mellom herskende, medherskende og undertrykte trær. Fra hvert tre er det tatt ut stammeskiver fra stubbeavskjær og ved 25 %, 50 % og 75 % av trehøyden. For nærmere beskrivelse av materialets opprinnelse og uttaket henvises til Vadla (2006).

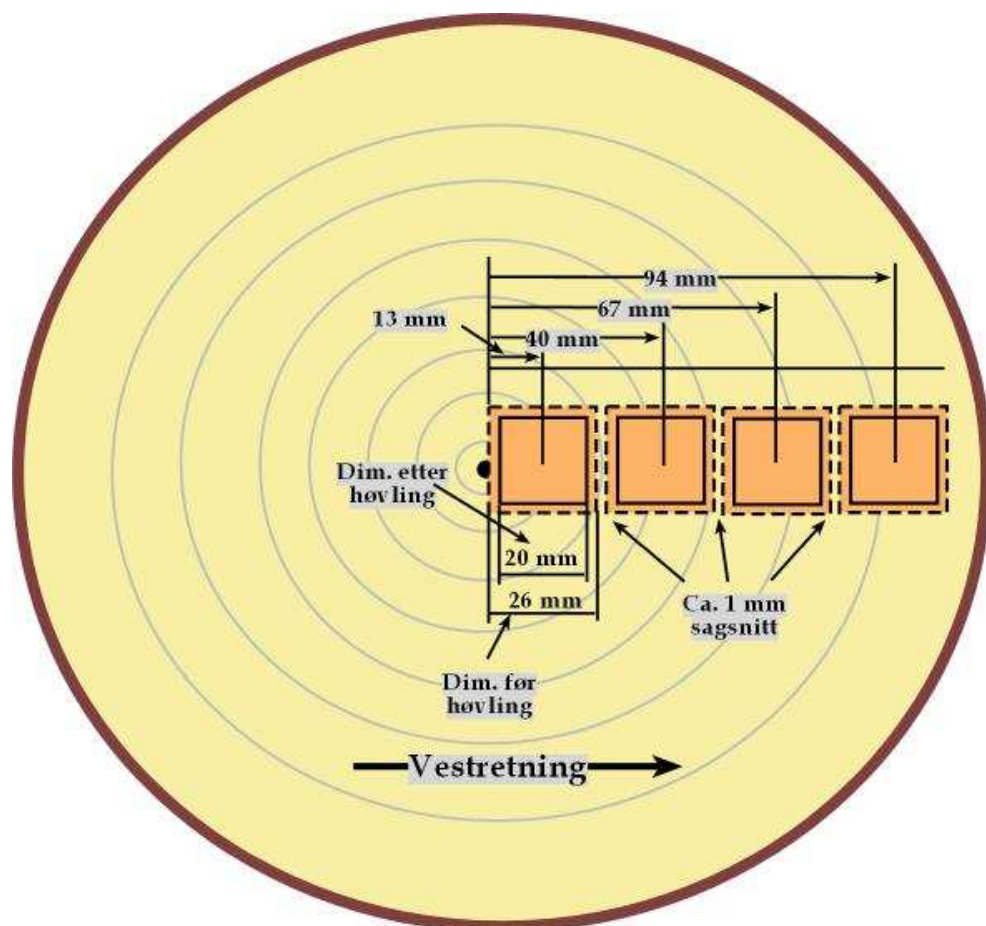


Figur 2. Fra hvert utvalgt tre er det tatt ut prøvemateriale fra stubbeavskjær og ved 25 %, 50 % og 75 % av trehøyden.



Figur 3. Prøvemateriale av gran. Kubber til Treteknisk og stammeskiver til PFI og Skog og Landskap.

Ved Treteknisk har man fra hver kubbe tatt ut feilfrie prøver med dimensjon 20 x 20 mm i vestlig retning, så langt kubbens diameter tillot det. På disse prøvene har man undersøkt statisk bøyefasthet, elastisitetsmodul, basisdensitet, årringbredde og krymping. I tillegg har man registrert fibervinkler i faste intervaller fra marg til bark på hele stammeskiver av både gran og furu.



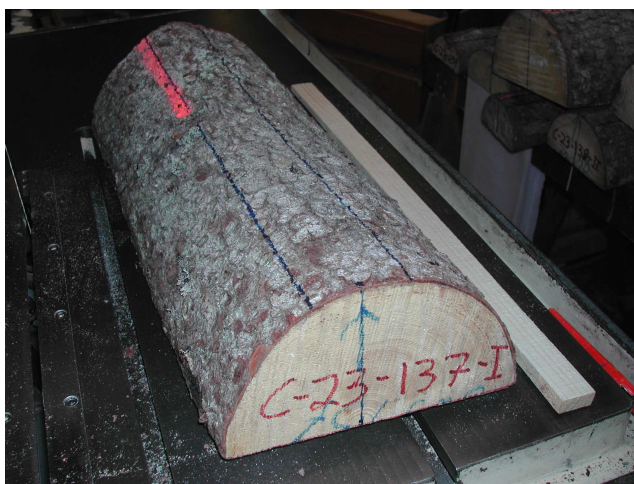
Figur 4. Uttak av 20 x 20 mm prøver til testing.

3. Metode

Undersøkelse av mekaniske og fysiske egenskaper er gjort i henhold til skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver, Skanorm (Kucêra 1992). Fibervinkelmålinger er gjort i overensstemmelse med metode beskrevet av Panshin et al. (1964) og benyttet av Molteberg (2004) og Bramming (2001).

3.1 Preparering av prøver – mekaniske og fysiske egenskaper

Hver stammeskive ble først delt i to, og fra den delen av skiven som var vestretning på stående tre, ble det skåret ut 24 x 24 mm prøvestaver. Prøvestavene ble deretter tørket til omtrent 12 % trefuktighet i klima med 60 % relativ luftfuktighet og 20 °C. Til slutt ble prøvestavene høvlet til dimensjon 20 x 20 mm.



Figur 5. Bare den del av kubben som vendte mot vest på det opprinnelige stående tre ble benyttet.



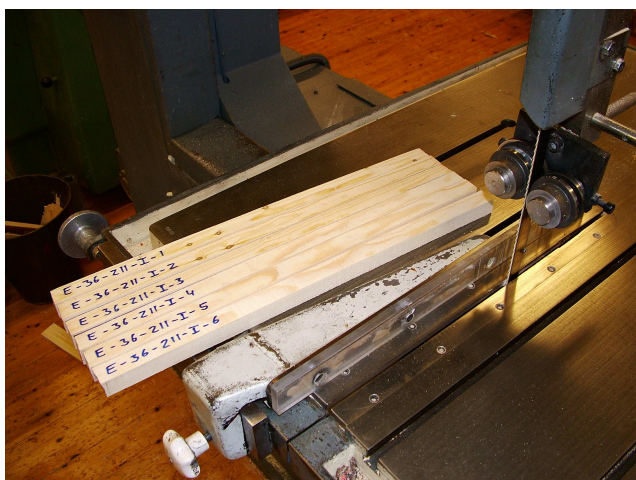
Figur 6. Midtre slisse i vestretning skjæres ut.



*Figur 7. Fra den midtre slisse skjæres prøvestaver ut.
(Wenzlow 2006).*



Figur 8. Prøvestavene tørkes.



*Figur 9. Prøvestavene skjæres endelig til og nummereres.
(Wenzlow 2006).*



Figur 10. Ferdige høvlede prøvestaver klare til sortering og testing. (Wenzlow 2006).

Ved test av fibervinkel ble det benyttet ca. 10 cm høye hele stammeskiver. Fra hver stammeskive ble det skåret ut et område fra skivens diameter gjennom marginen og ca. 3 cm ut på hver side. Figur 11 viser prinsippet.

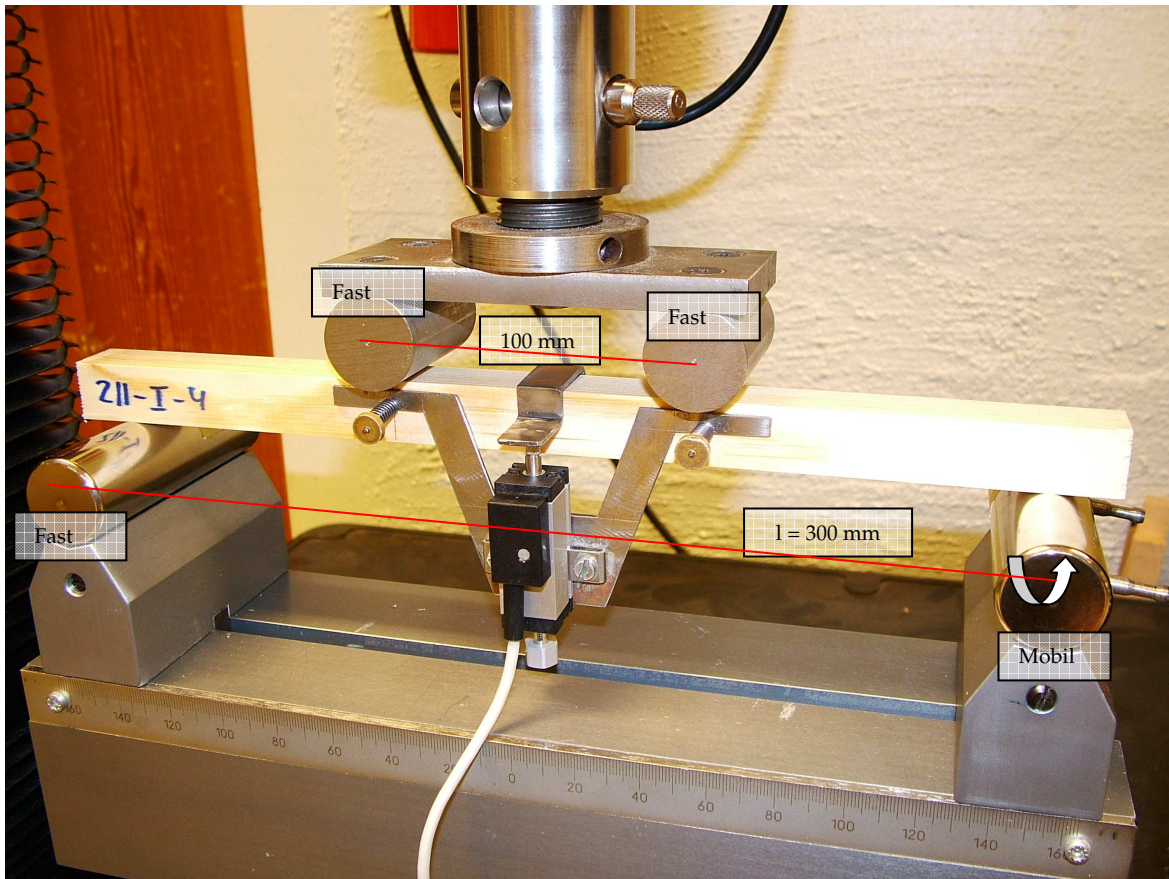


Figur 11. Ferdig prøve klar til test av fibervinkel.

Kun prøver med feilfri ved, dvs. uten kvist, tennar etc., ble benyttet i undersøkelsen.

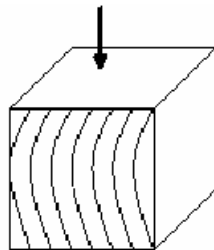
3.2 Elastisitetsmodul

Testingen ble gjennomført i henhold til Skanorm 8 (Kucêra 1992) med enkelte justeringer. Figur 12 viser oppsett for test av elastisitetsmodul.



Figur 12. Oppsett for test av elastisitetsmodul.

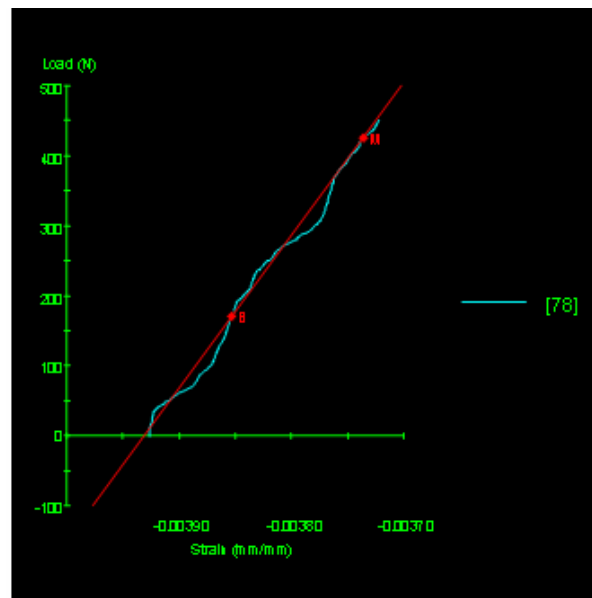
Under testing ble kraften påført i treets tangentielle retning.



Figur 13. Retning for test av elastisitetsmodul.
(Wenzlow 2006).

Kraftområdet for beregning av elastisitetsmodul er mellom 170 N (F_1) og 425 N (F_2). Med en hastighet på 2,5 mm/m ble teststykket påført en kraft på 425 N. Dette tok ca. 30 sek. Deretter ble kraften redusert til 0 N. Denne prosedyre ble gjentatt seks ganger, og elastisitetsmodulen (E_w) ble regnet ut for hver enkelt kjøring. Elastisitetsmodulen som er brukt i databehandlingen for hvert enkelt teststykke, er den gjennomsnittlige elastisitetsmodul for de fire siste kjøringene.

Figur 14 viser et eksempel på grunnlag for beregning av elastisitetsmodul for én kjøring.



Figur 14. Grunnlag for beregning av elastisitetsmodul.

Beregning av elastisitetsmodul (E_w) for hver kjøring skjer etter formel vist under.

$$E_w = \frac{F \times l^3}{36 \times b \times h^3 \times f} [GPa]$$

F: Differensen mellom belastningene F_2 (425 N) og F_1 (170 N) [N] = 255

l: Avstand mellom opplagringspunktene [cm] = 30

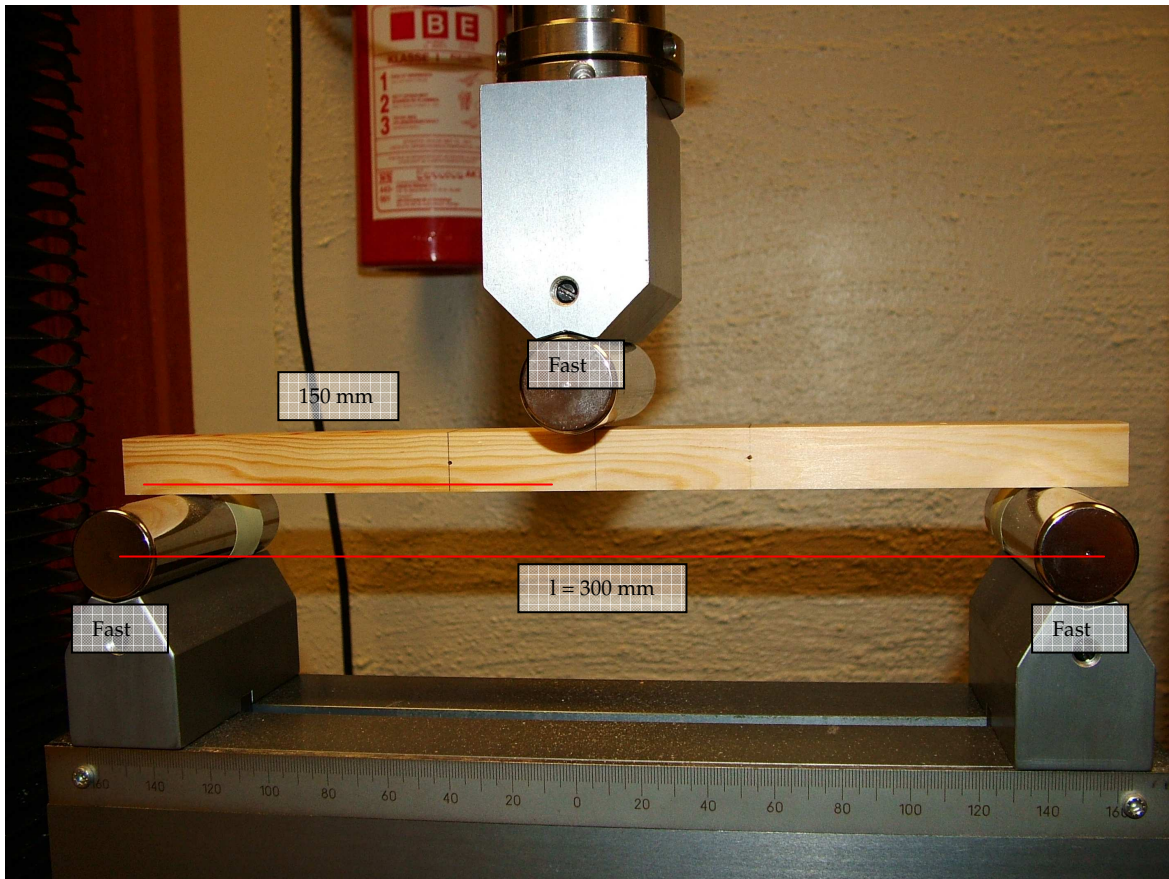
b: Prøvens dimensjon i radiell retning [mm] = 20

h: Prøvens dimensjon i tangentiell retning [mm] = 20

f: Differanse i nedbøyningsdeformasjonen mellom F_2 og F_1 [mm]

3.3 Statisk bøyefasthet

Testingen ble gjennomført i henhold til Skanorm 7 (Kucêra 1992) med enkelte justeringer. Figur 15 viser oppsett for test av statisk bøyefasthet.



Figur 15. Metode for test av statisk bøyefasthet.

Testen ble utført i treets tangentielle retning. Testen ble utført med en hastighet på 6 mm/min. Maksimal kraft før brudd ($F_{\max}$) registreres, og statisk bøyefasthet beregnes etter formel angitt under.

$$\sigma_b = \frac{3 \times F_{\max} \times l}{2 \times b \times h^2} [\text{MPa}]$$

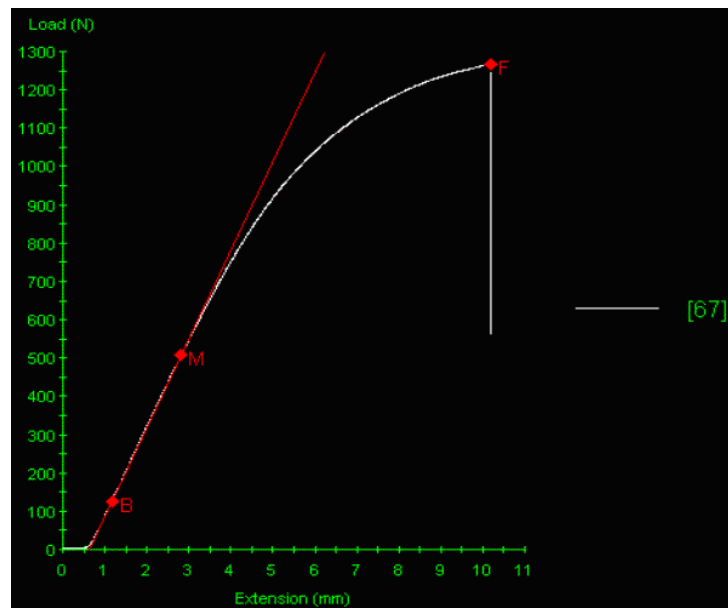
$F_{\max}$: Bruddbelastning [N]

l : Avstand mellom opplagringspunkter [mm] = 300

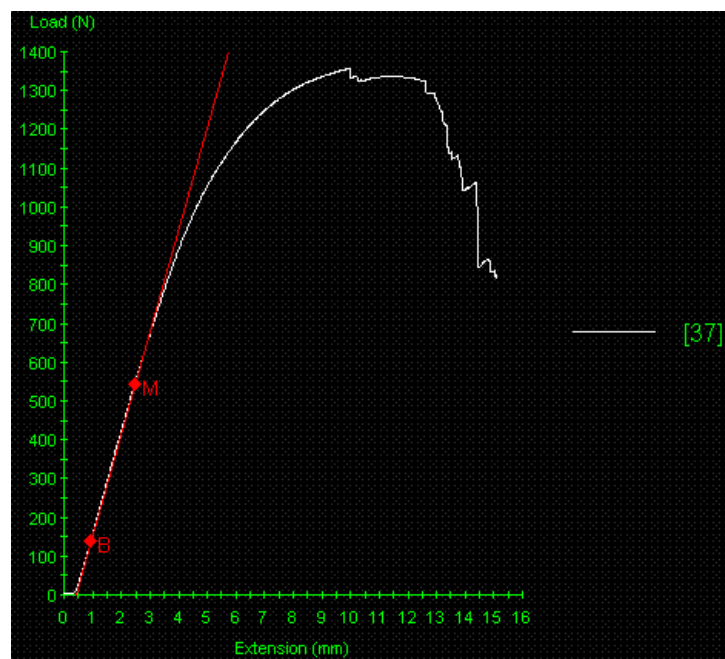
b : Prøvens dimensjon i radiell retning [mm] = 20

h : Prøvens dimensjon i tangentiell retning [mm] = 20

Figur 16 og 17 viser to eksempler på forløpet under test av bøyefasthet.



Figur 16. Test av statisk bøyefasthet, eksempel 1.



Figur 17. Test av statisk bøyefasthet, eksempel 2.

3.4 Basisdensitet

Testingen ble gjennomført i henhold til Skanorm 4 (Kucêra 1992). Prøvestykkene var 30 mm lange og 20 x 20 mm i tverrsnitt. Etter en ukes opphold i vann, ble prøvestykkets lengde, bredde og tykkelse målt og volumet ($V_{\max}$) beregnet. Deretter ble prøvene tørket ved 103 °C i 24 timer, avkjølt i eksikator 3-4 timer og veid (m_0).

Basisdensitet (ρ_y) beregnes deretter etter følgende formel.

$$\rho_y = \frac{m_0}{a_{\max} \times b_{\max} \times l_{\max}} = \frac{m_0}{V_{\max}} [kg / m^3]$$

m_0 : Vekt absolutt tørr [kg]

$a_{\max}$: Tykkelse ved fuktighet over fibermetningspunktet [m]

$b_{\max}$: Bredde ved fuktighet over fibermetningspunktet [m]

$l_{\max}$: Lengde ved fuktighet over fibermetningspunktet [m]

$V_{\max}$: Volum ved fuktighet over fibermetningspunktet [m³]

m_0 : Masse i absolutt tørr tilstand

3.5 Krymping

Test av radiell, tangentiell og volumkrymping ble gjennomført i henhold til Skanorm 16 og 18 (Kucêra 1992) på de samme prøvene og samtidig med test av basisdensitet. Lengdekrymping ble testet etter metode beskrevet i Skanorm 16 og 18, men på 100 mm prøver.

Maksimal krymping i radiell retning ($\beta_{r,\max}$) beregnes etter følgende formel:

$$\beta_{r,\max} = \frac{(l_{r,\max} - l_{r,0}) \times 100 \% }{l_{r,\max}} [\%]$$

Maksimal krymping i tangentiell retning ($\beta_{t,\max}$) beregnes etter følgende formel:

$$\beta_{t,\max} = \frac{(l_{t,\max} - l_{t,0}) \times 100 \% }{l_{t,\max}} [\%]$$

Maksimal lengdekrymping ($\beta_{l,\max}$) beregnes etter følgende formel:

$$\beta_{l,\max} = \frac{(l_{l,\max} - l_{l,0}) \times 100 \% }{l_{l,\max}} [\%]$$

Maksimal volumkrymping ($\beta_{V_{\max}}$) beregnes etter følgende formel:

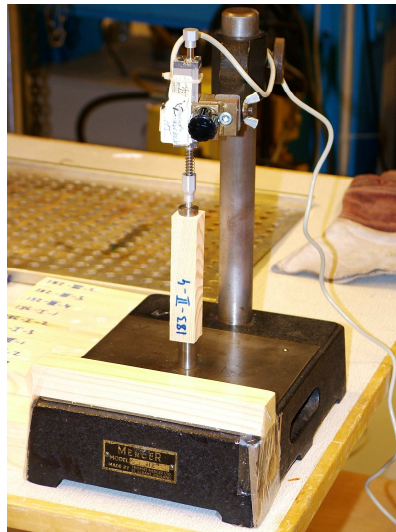
$$\beta_{V_{\max}} = \frac{(V_{\max} - V_0) \times 100}{V_{\max}} [\%]$$

$l_{r,\max}$, $l_{t,\max}$, $l_{l,\max}$: Prøvens dimensjon i de ulike retninger ved fuktighet større enn fibermetningspunktet [mm]

$l_{r,0}$, $l_{t,0}$, $l_{l,0}$: Prøvens dimensjon i de ulike retninger i absolutt tørr tilstand [mm]

$V_{\max}$: Prøvens volum ved fuktighet over fibermetningspunktet [cm³]

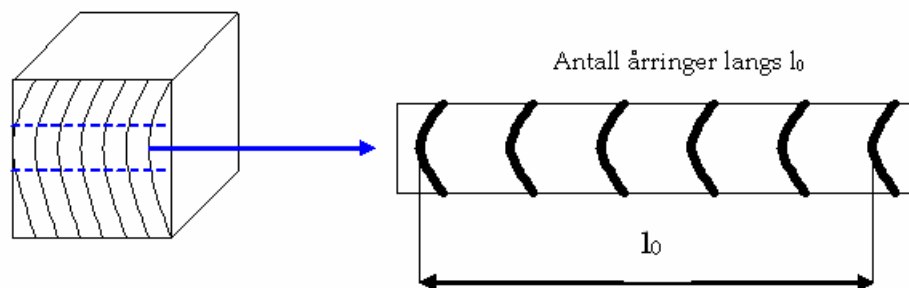
V_0 : Prøvens volum i absolutt tørr tilstand [cm³]



Figur 18. Utstyr for måling av lengdekrymping (Wenzlow 2006).

3.6 Årringbredde

Testingen ble gjennomført i henhold til Skanorm 2 (Kucêra 1992) på de samme prøvene som ble benyttet til test av basisdensitet. Testen ble utført ved ca. 12 % trefuktighet. I en linje vinkelrett på årringene telles antall hele årringer. Figur 19 viser prinsippet for testingen.



Figur 19. Registrering av gjennomsnittlig årringbredde. (Wenzlow 2006).

Gjennomsnittlig årringbredde ($A_{\bar{x}}$) beregnes etter følgende formel:

$$A_{\bar{x}} = \frac{l_0}{n} [mm]$$

l_0 : Lengden langs linjen av prøvens hele årringer [mm]

n : Antall årringer langs linjen av prøvens hele årringer

3.7 Fibervinkel

Fibervinkelmålinger ble gjort i overensstemmelse med metode beskrevet av Panshin et al. (1964) og benyttet av Molteberg (2004) og Bramming (2001). Hovedprinsippet for metoden er at når trevirke spaltes med en kniv, vil spaltningen følge fiberens helning. Kløyvingen som skjer gjennom margen vil gå langs med fibrene og ikke gjennom dem.

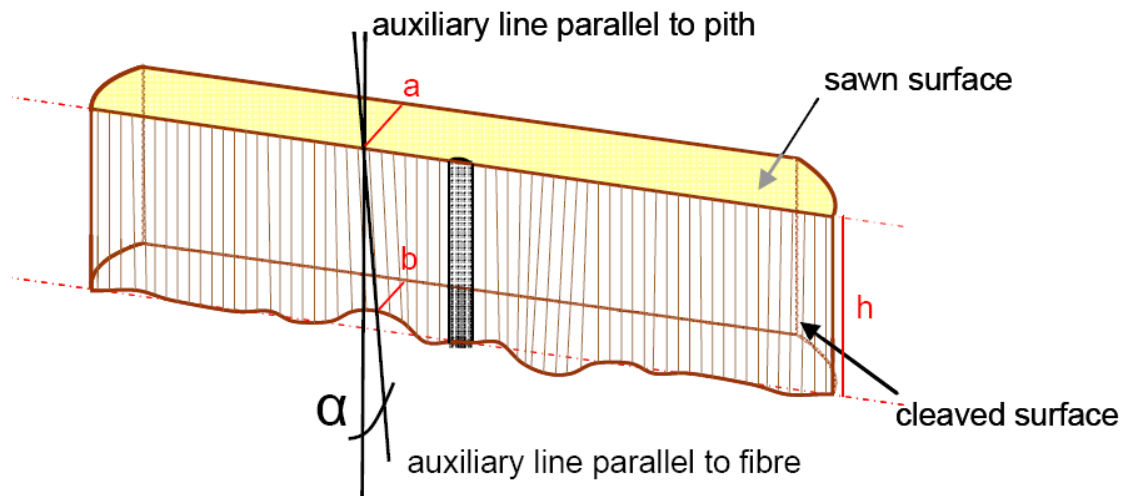


Figur 20. Spalting av prøvestykke. (Wenderdel 2006).



Figur 21. Prøvestykke etter spaltning, klar til måling. (Wenderdel 2006).

Fibervinkelen måles i forhold til margen i tangentiell retning. Figur 22 viser prinsippet.



Figur 22. Måling av fibervinkel i forhold til marg på stående tre. (Wenderdel 2006).

Fibervinkelen regnes ut ved bruk av Pytagoras:

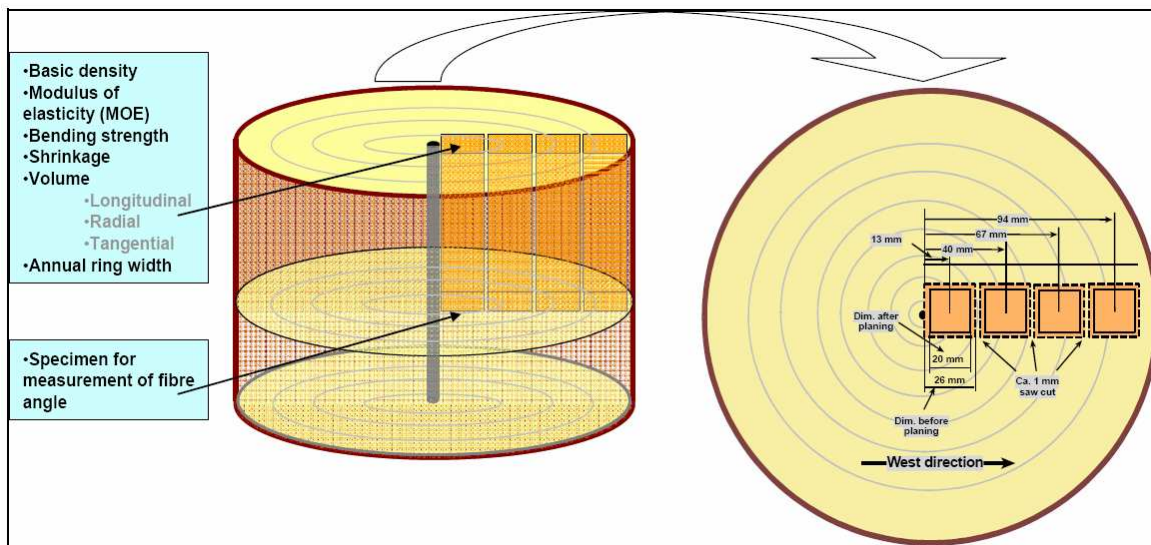
$$\alpha = \arctan\left(\frac{a-b}{h}\right)$$

Dette forhold gjelder når avstanden fra marg vinkelrett ut til saget side er eksakt lik på prøvens overside og underside. Det vil si, når prøven er tatt ut helt parallelt og i perfekt symmetri med det stående tres marg. På alle prøvestykker ble avstand fra marg til saget side målt oppe og nede for korreksjon. Figur 23 viser et eksempel.



Figur 23. Registrering av margens symmetri i forhold til prøvestykket. (Wenderdel 2006).

Materiale for måling av fibervinkel er tatt fra de samme posisjoner og de samme trær som er benyttet i de andre undersøkelsene.



Figur 24. Figuren viser hvordan uttak til undersøkelse av fibervinkel er foretatt.
(Wenderdel 2006).

Fibervinkelen er beregnet i fire posisjoner for hver 20 x 20 mm prøvestav benyttet i de andre undersøkelsene. Tabell 3 angir avstand fra marg til alle posisjoner hvor fibervinkelen ble beregnet.

Tabell 3. Avstand fra marg ved registrering av fibervinkel.

Prøvestav nr. fra marg mot bark	Avstand fra marg [mm]			
Prøvestav 1	5,5	10,5	15,5	20,5
Prøvestav 2	32,5	37,5	42,5	47,5
Prøvestav 3	59,5	64,5	69,5	74,5
Prøvestav 4	86,5	91,5	96,5	101,5
Prøvestav 5	113,5	118,5	123,5	128,5
Prøvestav 6	140,5	145,5	150,5	155,5
Prøvestav 7	167,5	172,5	177,5	182,5
Prøvestav 8	194,5	199,5	204,5	209,5
Prøvestav 9	221,5	226,5	231,5	236,5

Kun prøver med feilfri ved, dvs. uten kvist, tennar etc., ble benyttet i undersøkelsen.

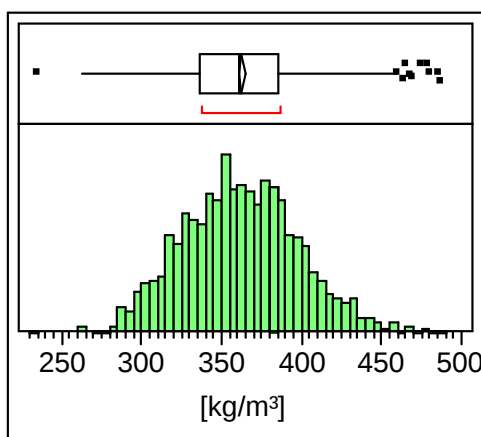
4. Resultater

4.1 Gran - hovedresultater

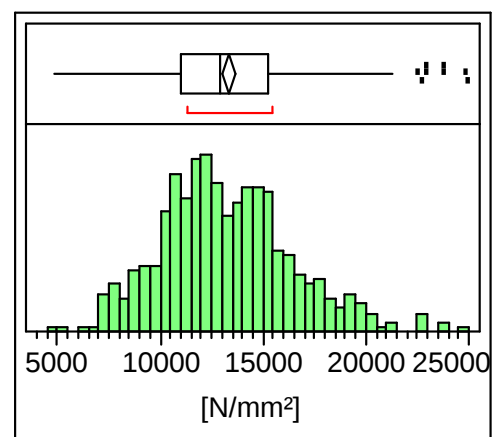
Tabell 4. Hovedresultater for gran.

Egenskap	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik			Antall observasjoner		
	Alle observasjoner	Alle observasjoner	På gjennomsnitt fra hvert tre	På gjennomsnitt fra hvert bestand	Alle observasjoner	Antall trær	Antall bestand
Basisdensitet [kg/m ³]	363	38,0	28,0	19,7	1344	132	22
Elastisitetsmodul (MOE) [N/mm ²]	13400	3470	2580	1280	495	121	22
Statisk bøyefasthet (MOR) [N/mm ²]	75	11	9,8	6,0	491	119	22
Volumkrymping [%]	10,9	1,45	0,85	0,56	1344	132	22
Tangentiell krymping [%]	7,10	1,02	0,54	0,36	1344	132	22
Radiell krymping [%]	4,00	0,90	0,54	0,34	1344	132	22
Longitudinal krymping [%]	0,19	0,12	0,06	0,03	533	130	22
Årringbredde [mm]	2,5	1,3	1,0	0,96	1343	132	22

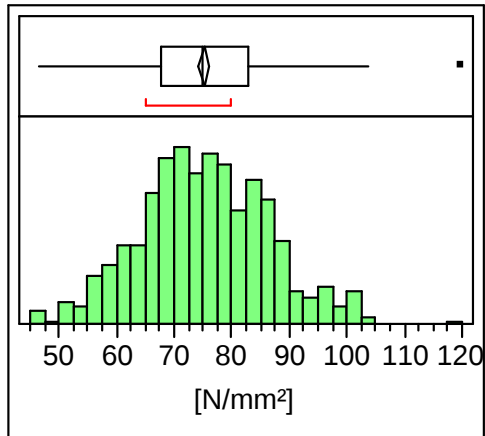
Figur 25 til 33 viser fordelingen på de undersøkte mekaniske og fysiske egenskapene for hele materialet av gran.



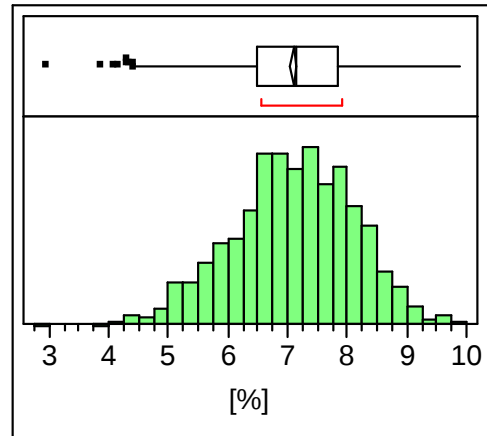
Figur 25. Basisdensitet, gran.



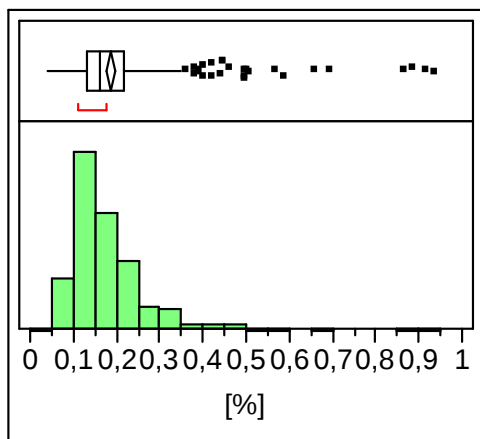
Figur 26. Elastisitetsmodul, gran.



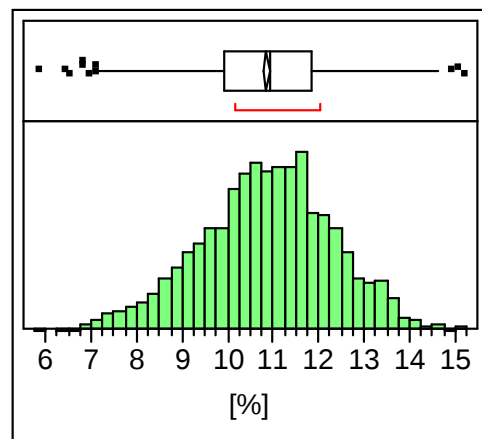
Figur 27. Statisk bøyefasthet, gran.



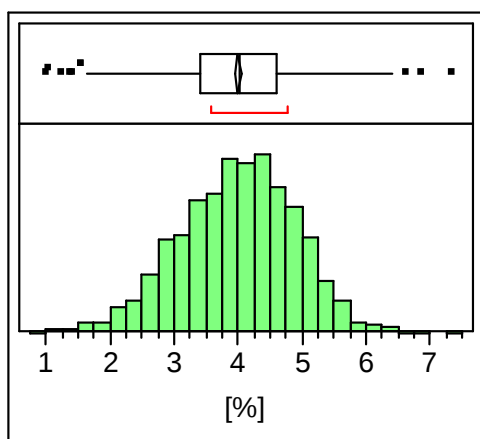
Figur 28. Tangentiell krymping, gran.



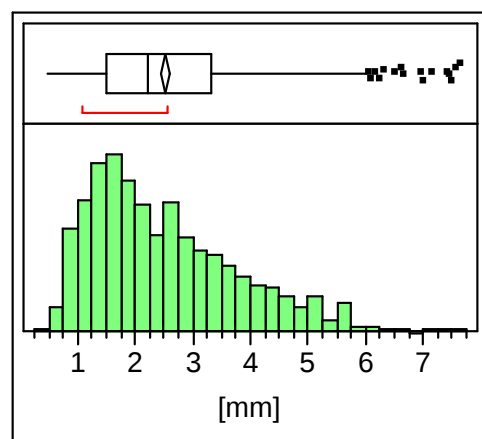
Figur 29. Longitudinal krymping, gran.



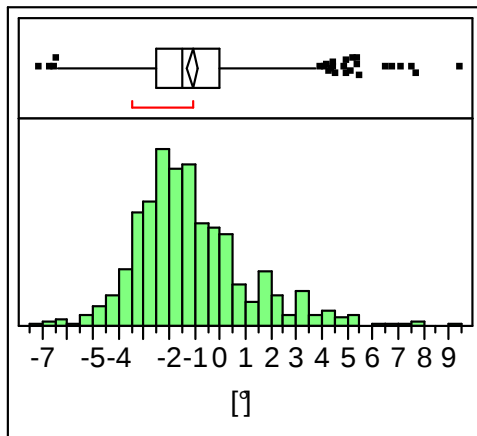
Figur 30. Volumkrymping, gran.



Figur 31. Radiell krymping, gran.



Figur 32. Gjennomsnittlig årringbredde, gran.



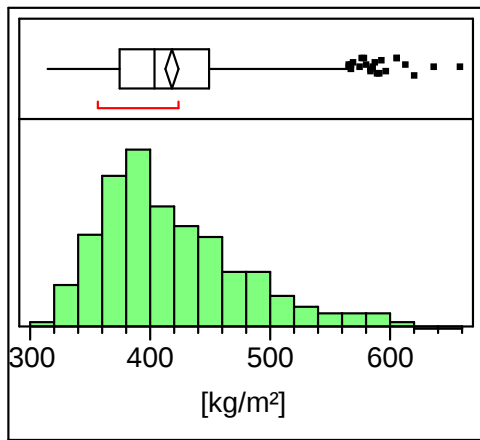
Figur 33. Fibervinkel, gran.

4.2 Furu - hovedresultater

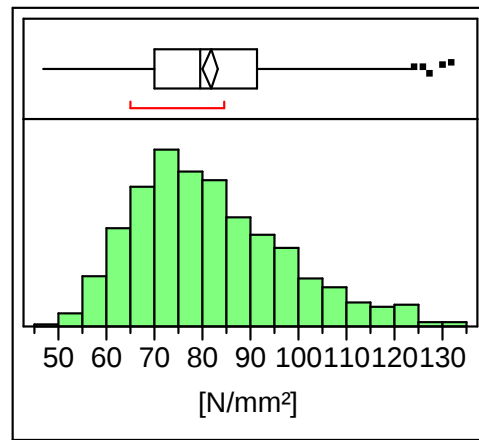
Tabell 5. Hovedresultater for furu.

Egenskap	Gjennomsnittsverdi	Standardavvik			Antall observasjoner		
	Alle observasjoner	Alle observasjoner	På gjennomsnitt fra hvert tre	På gjennomsnitt fra hvert bestand	Alle observasjoner	Antall trær	Antall bestand
Basisdensitet [kg/m ³]	418	61	27	17	656	60	10
Elastisitetsmodul (MOE) [N/mm ²]	12536	3325	2184	1298	438	60	10
Statisk bøyefasthet (MOR) [N/mm ²]	81,7	16,1	9,8	6,1	438	60	10
Volumkrymping [%]	10,7	1,7	1,1	0,8	656	60	10
Tangentiell krymping [%]	6,6	1,2	0,7	0,6	656	60	10
Radiell krymping [%]	4,2	0,9	0,6	0,4	656	60	10
Longitudinal krymping [%]	0,2	0,2	0,1	0,1	460	60	10
Årringbredde [mm]	1,7	0,9	0,7	0,6	656	60	10

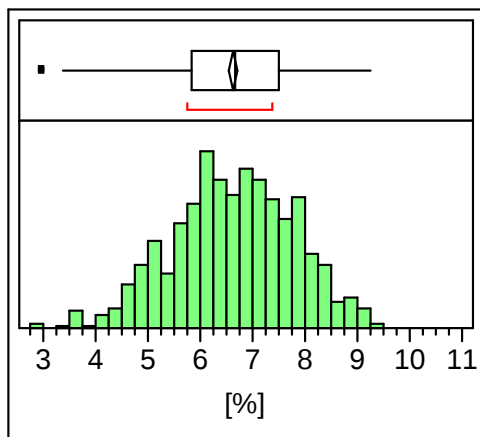
Figur 34 til 42 viser fordelingen på de undersøkte mekaniske og fysiske egenskapene for hele materialet av furu.



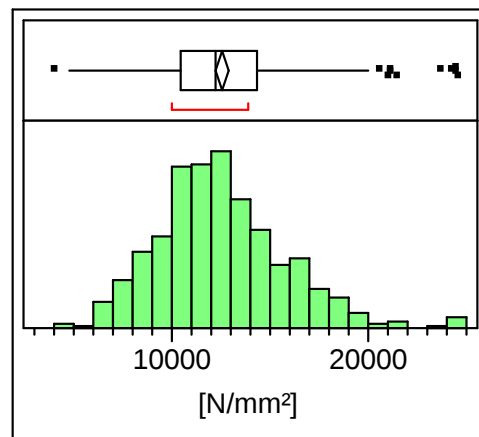
Figur 34. Basisdensitet, furu.



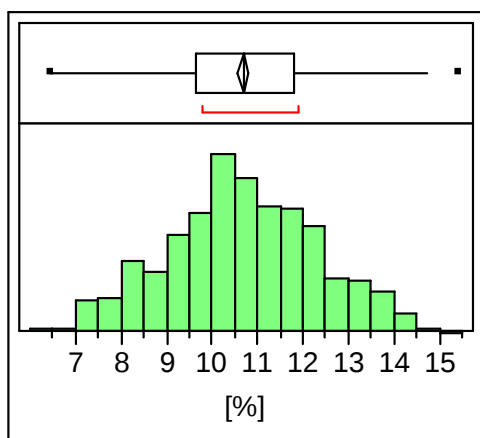
Figur 35. Statisk bøyefasthet, furu.



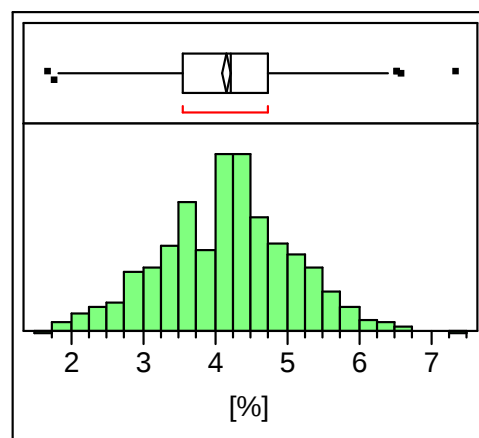
Figur 36. Tangentiell krymping, furu.



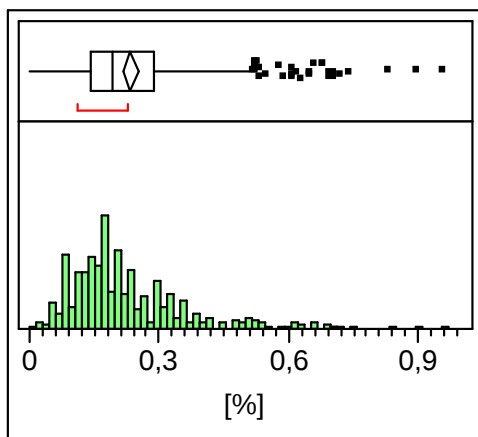
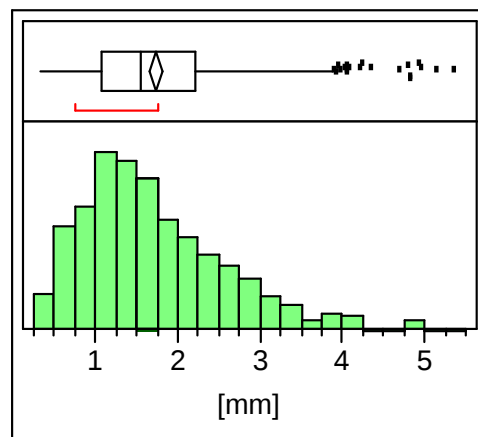
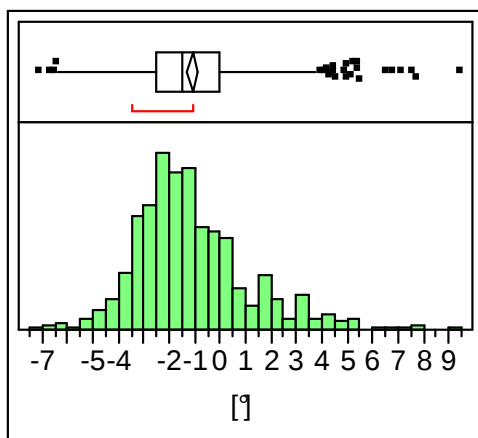
Figur 37. Elastisitetsmodul, furu.



Figur 38. Volumkrymping, furu.

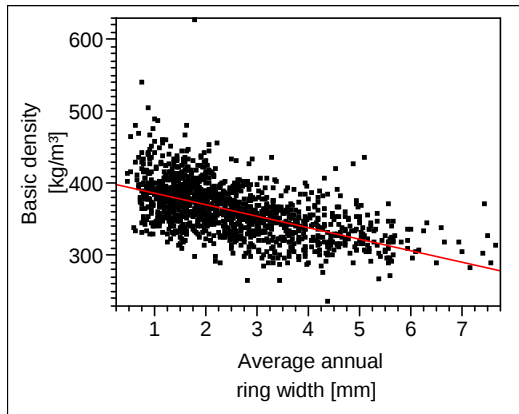


Figur 39. Radiell krymping, furu.

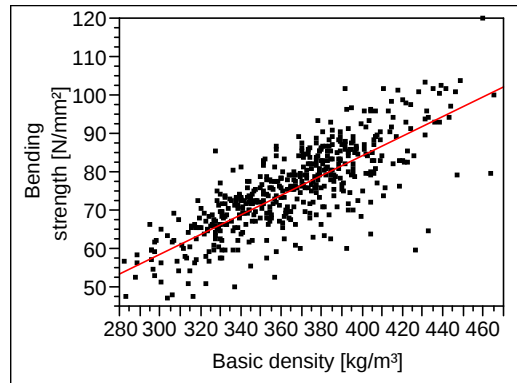
*Figur 40. Longitudinal krymping, furu.**Figur 41. Årringbredde, furu.**Figur 42. Fibervinkel, furu.*

4.3 Mekaniske og fysiske egenskaper – gran

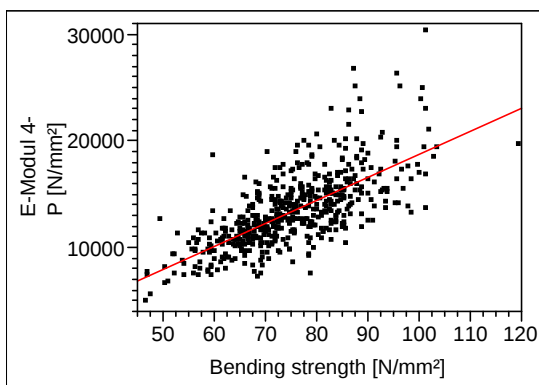
Figur 43 til 46 viser lineær sammenheng mellom et utvalg av mekaniske og fysiske egenskaper for gran.



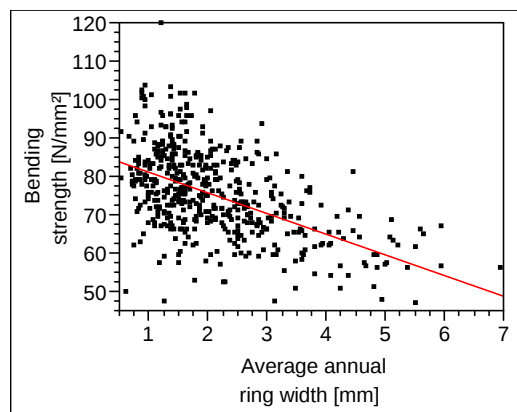
Figur 43. Korrelasjon mellom årringbredde og basisdensitet ($R^2 = 0,32$).



Figur 44. Korrelasjon mellom basisdensitet og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,62$).



Figur 45. Korrelasjon mellom statisk bøyefasthet og elastisitetsmodul ($R^2 = 0,48$).

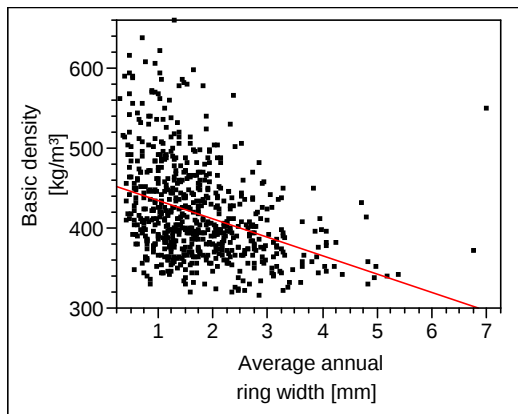


Figur 46. Korrelasjon mellom årringbredde og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,28$).

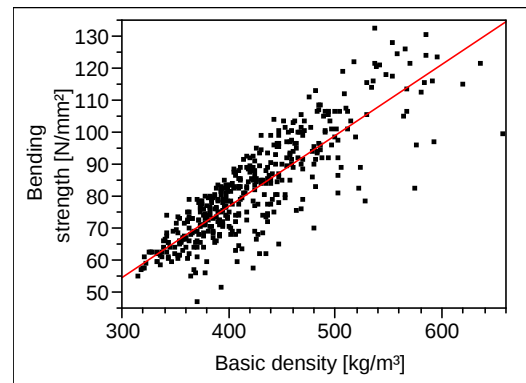
I denne undersøkelsen er det ikke funnet sammenhenger mellom fibervinkel og mekaniske og fysiske egenskaper.

4.4 Mekaniske og fysiske egenskaper – furu

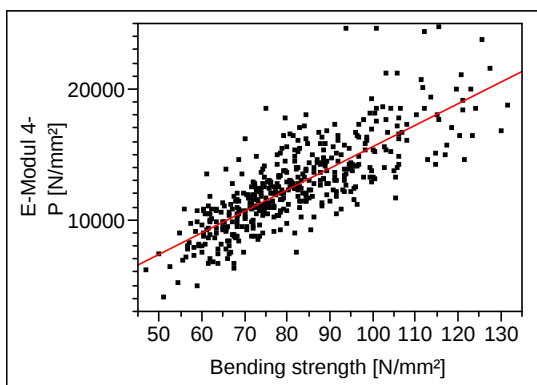
Figur 47 til 50 viser lineær sammenheng mellom et utvalg av mekaniske og fysiske egenskaper for furu.



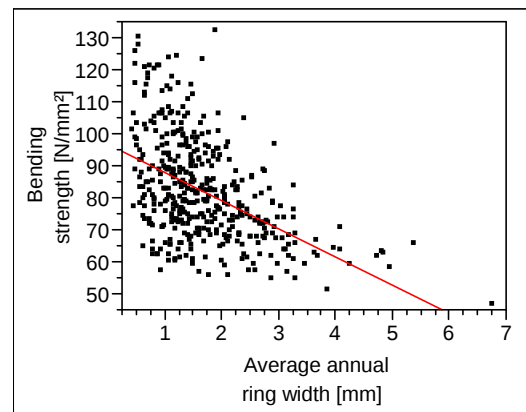
Figur 47. Korrelasjon mellom årringbredde og basisdensitet ($R^2 = 0,13$).



Figur 48. Korrelasjon mellom basisdensitet og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,72$).



Figur 49. Korrelasjon mellom statisk bøyefasthet og elastisitetsmodul ($R^2 = 0,63$).



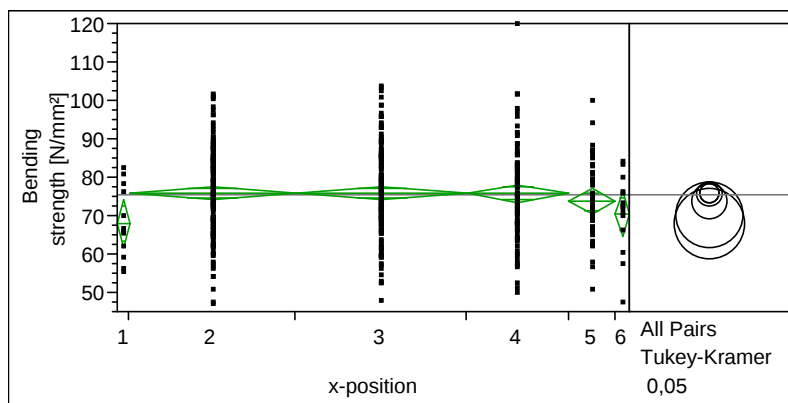
Figur 50. Korrelasjon mellom årringbredde og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,23$).

I denne undersøkelsen er det ikke funnet sammenhenger mellom fibervinkel og mekaniske og fysiske egenskaper.

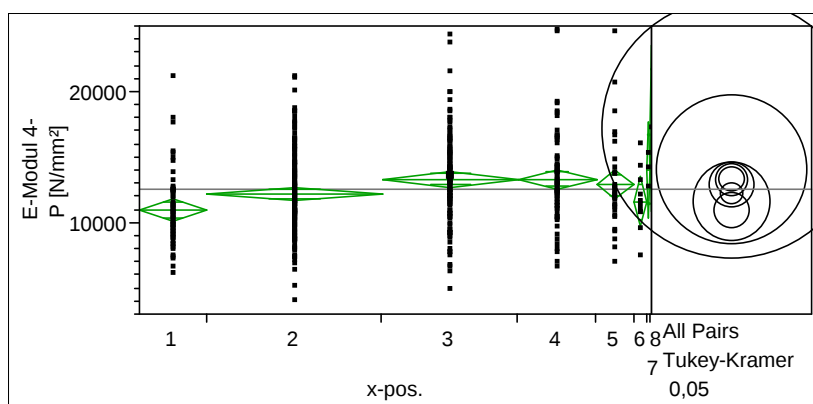
4.5 Mekaniske og fysiske egenskaper – variasjon i x-retning

Når man ser på hele datamaterialet under ett, og undersøker utviklingen av egenskaper i treets x-retning fra marg mot bark, finner man noen sammenhenger.

Ved enveis variansanalyse var det ingen signifikant variasjon i basisdensitet, statisk bøyefasthet og elastisitetsmodul fra marg mot bark. Dette gjelder både gran og furu.



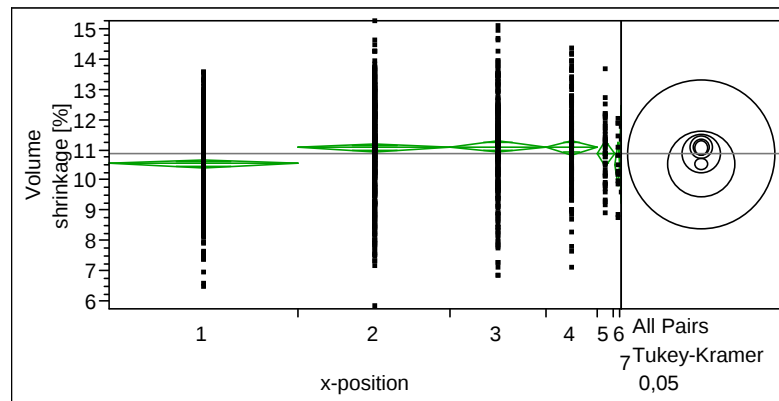
Figur 25. Statisk bøyefasthet varierer lite fra marg mot bark (gran).



Figur 26. Intet klart bilde av variasjon i elastisitetsmodul fra marg mot bark (furu).

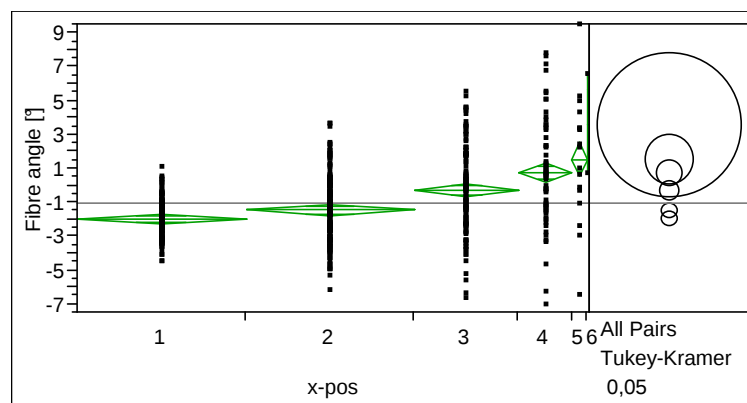
Første posisjon fra marg mot bark har signifikant lavere tangentiell krymping enn posisjoner lengre ut fra margen. Den radielle krympingen har tendens til å øke fra marg mot bark, men dette er ikke signifikant. Disse forhold gjelder for både gran og furu.

For både gran og furu er volumkrympingen signifikant lavest i første posisjon nærmest margen, sammenlignet med de første etterfølgende posisjoner.

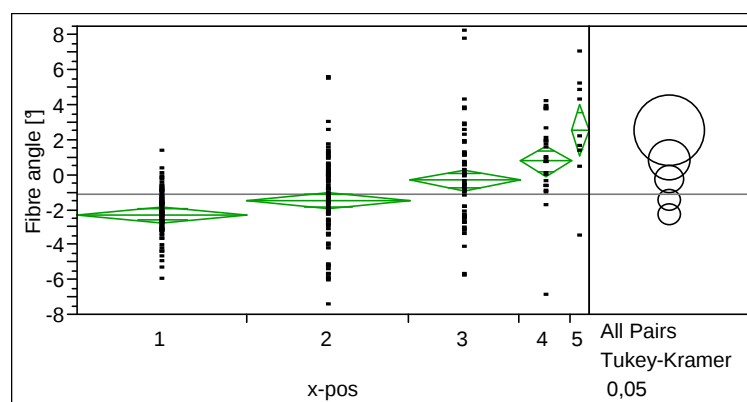


Figur 27. Volumkrympingen er lavere tett ved margen sammenlignet med posisjon 2, 3 og 4 (gran).

For både gran og furu er det tendens til at fiberen har en negativ vinkel (venstre- vridning) nærmest margen, som senere retter seg opp og deretter blir positiv ut mot barken (høyrevridning).



Figur 28. Variasjon i fibervinkel fra marg mot bark, gran.

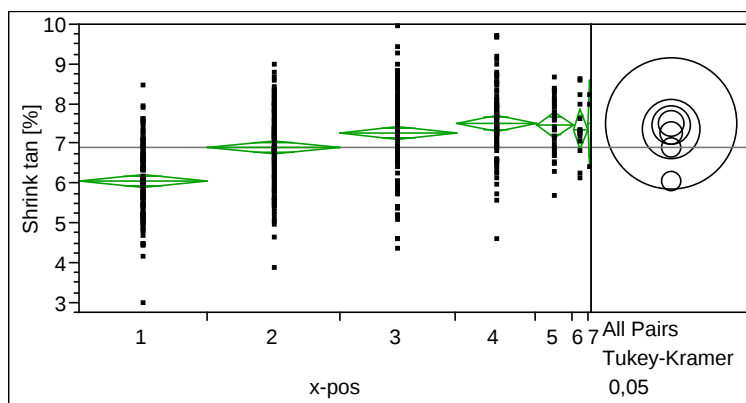


Figur 29. Variasjon i fibervinkel fra marg mot bark, furu.

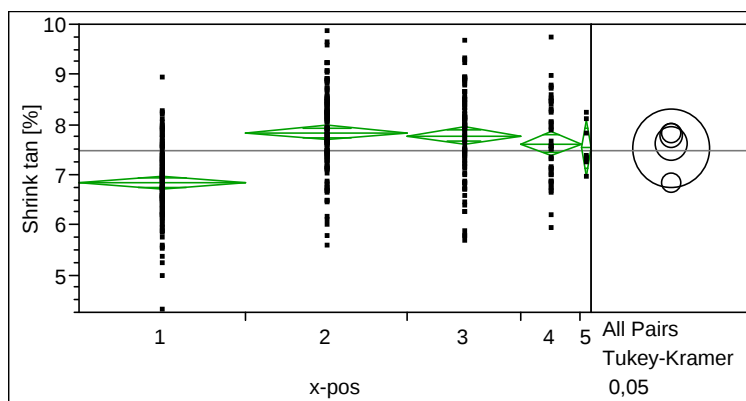
Ser man på den absolutte verdi av fibervinkelen, er det ingen signifikant forskjell i avstand fra marg.

For både gran og furu har toveis variansanalyse vist at det er signifikante forskjeller i basisdensitet, volumkrymping, tangentiell krymping, longitudinal krymping og fibervinkel fra marg mot bark, når man tar hensyn til y-posisjon i det stående tre. For furu er det i tillegg signifikant forskjell i elastisitetsmodul og statisk bøyefasthet fra marg til bark. For gran viser både enveis og toveis variansanalyse altså ingen signifikant forskjell i elastisitetsmodul og statisk bøyefasthet fra marg til bark.

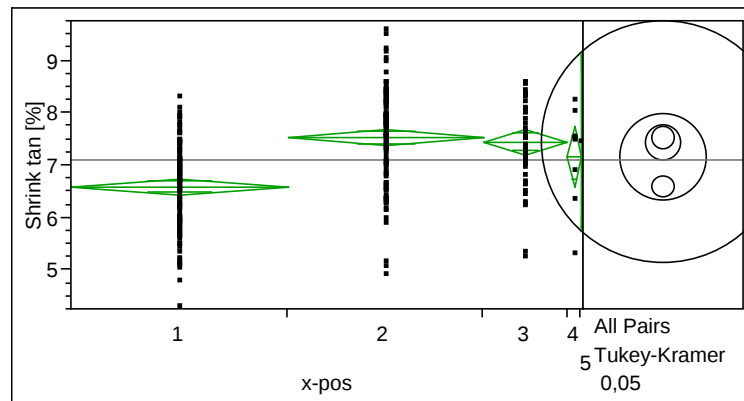
Figur 56 til 59 viser hvordan forløpet av tangentiell krymping fra marg mot bark varierer fra rotavskjær mot treets topp.



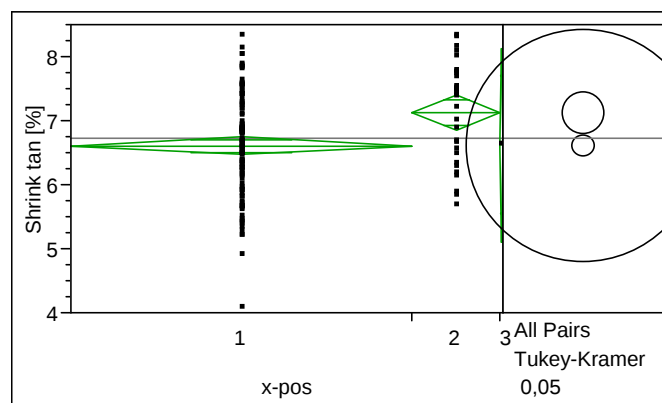
Figur 30. Variasjon i tangentiell krymping fra marg mot bark ved rotavskjær, gran.



Figur 31. Variasjon i tangentiell krymping fra marg mot bark ved 25 % av treets høyde, gran.



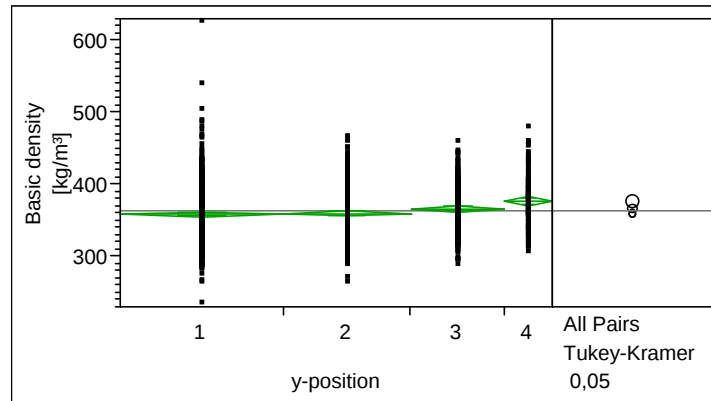
Figur 32. Variasjon i tangentiell krymping fra marg mot bark ved 50 % av treets høyde, gran.



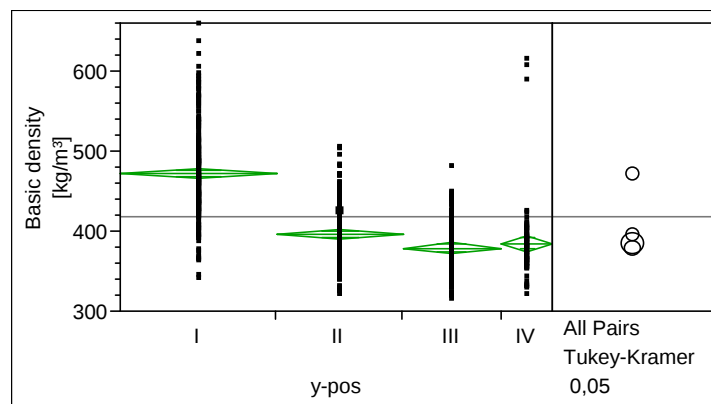
Figur 33. Variasjon i tangentiell krymping fra marg mot bark ved 75 % av treets høyde, gran.

4.6 Mekaniske og fysiske egenskaper – variasjon i y-retning

Enveis variansanalyse viser at gran har signifikant høyest basisdensitet ved 75 % av trehøyden. Furu har signifikant høyest basisdensitet ved stubbeavskjær.

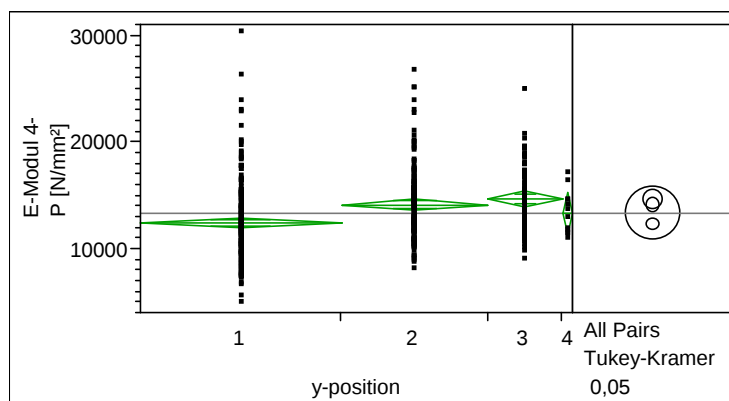


Figur 34. Variasjon i basisdensitet fra rot mot topp, gran.



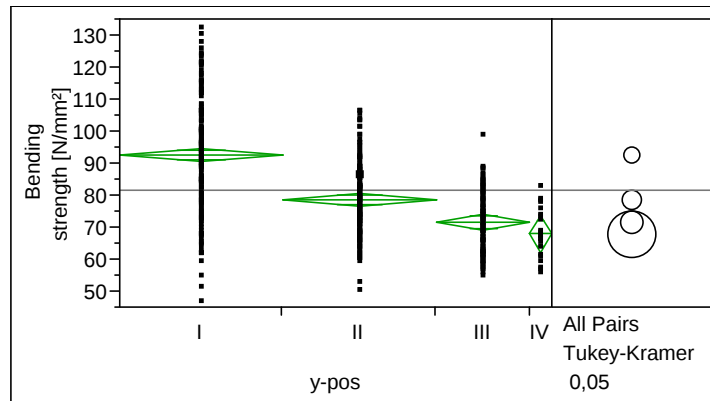
Figur 35. Variasjon i basisdensitet fra rot mot topp, furu.

For gran ble det funnet at de mekaniske egenskapene er signifikant lavere ved rotavskjær enn ved 25 % og 50 % av trehøyden. Ved rotavskjær er det signifikant lavest volumkrymping, og ved 50 % av trehøyden er volumkrympingen signifikant høyest.



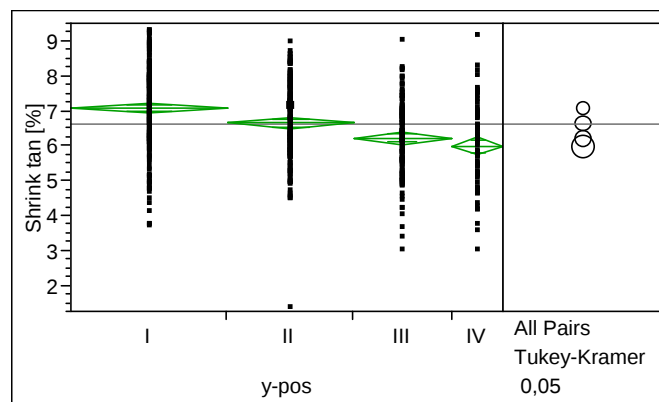
Figur 36. Elastisitetsmodulen er signifikant lavere ved rotavskjær enn ved 25 % og 50 % av treets høyde (gran).

For furu er det en tendens til avtakende elastisitetsmodul fra rot mot topp, men forholdet er ikke signifikant. Statisk bøyefasthet er signifikant avtakende fra rot mot topp frem til 75 % av treets høyde.



Figur 37. Statisk bøyefasthet er signifikant avtakende fra rot mot topp frem til 75 % av treets høyde (furu).

For furu finner man den signifikant høyeste volumkrympingen og krymping i tangentiell retning ved rotavskjær. Krympingen avtar signifikant frem mot 75 % av trehøyden.



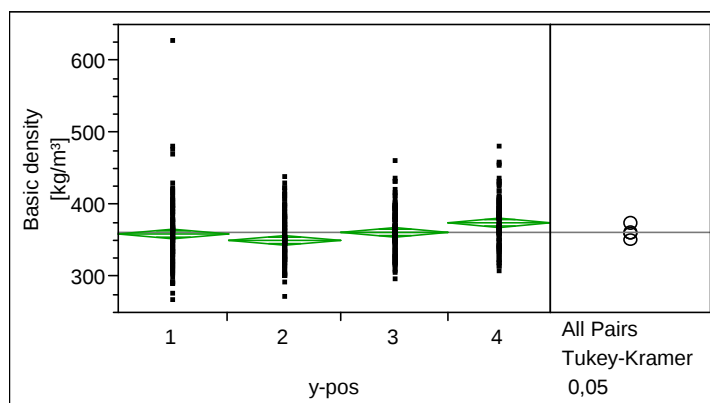
Figur 38. Krymping i tangentiell retning fra roten mot toppen av treet (furu).

For krymping i radiell retning er det ingen signifikante forskjeller i treets lengderetning.

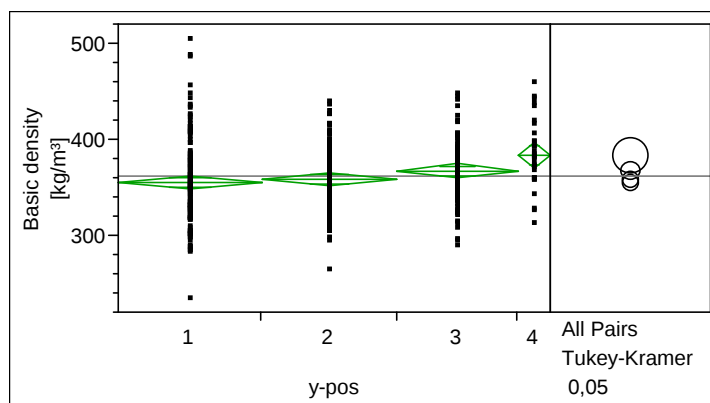
For gran finner man et annet bilde. Både volum-, radiell og tangentiell krymping er signifikant lavest ved rotavskjær, for deretter å øke mot 25 % av trehøyden. Frem mot toppen av treet er det en ikke-signifikant tendens til at volum- og tangentiell krymping avtar, mens radiell krymping flater ut.

Når man ser på den absolutte verdi av fiberhelningen, er det ingen signifikante forskjeller fra rot til treets topp for hverken gran eller furu.

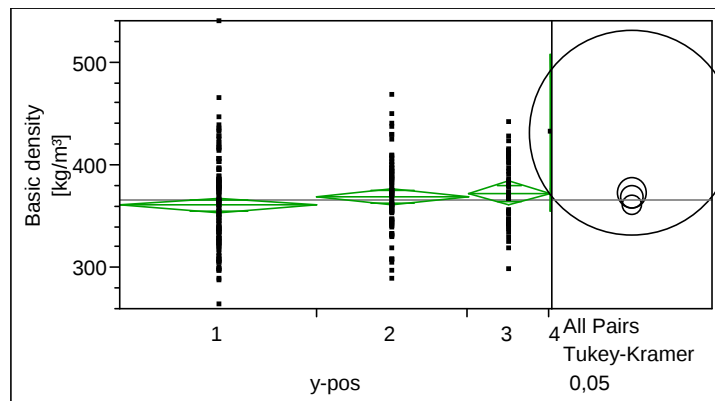
For både gran og furu har toveis variansanalyse vist at det er signifikante forskjeller i basisdensitet, volumkrymping, radiell krymping, tangentiell krymping, elastisitetsmodul og statisk bøyefasthet fra marg mot bark, når man tar hensyn til y-posisjon i det stående tre. Gran har dessuten signifikante forskjeller i longitudinal krymping, og furu har signifikante forskjeller i fibervinkel. Figur 65 til 69 viser hvordan basisdensiteten varierer for gran fra rotavskjær mot treets topp, når man undersøker samme posisjon fra marg. Det er tatt med de første fem posisjoner fra marg mot bark (x-pos = 1, x-pos = 2, x-pos = 3, x-pos = 4 og x-pos = 5).



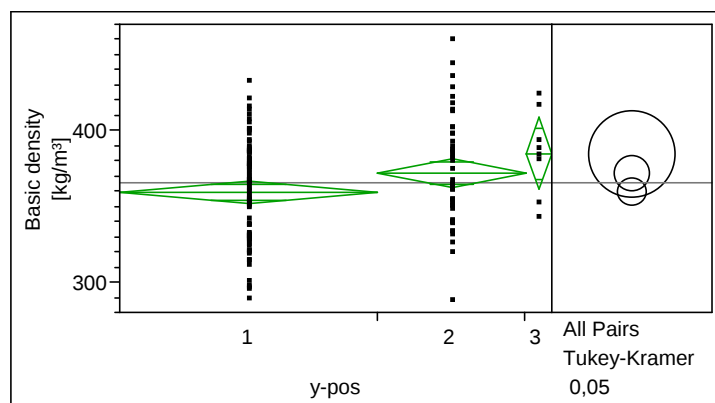
Figur 39. Variasjon i basisdensitet fra rotavskjær mot tretopp, når avstand fra marg er x-pos = 1, gran.



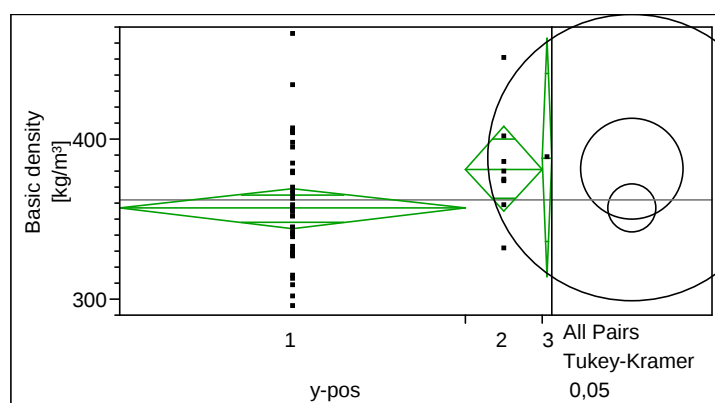
Figur 40. Variasjon i basisdensitet fra rotavskjær mot tretopp, når avstand fra marg er x-pos = 2, gran.



Figur 41. Variasjon i basisdensitet fra rotavskjær mot treetopp, når avstand fra marg er $x\text{-pos} = 3$, gran.



Figur 42. Variasjon i basisdensitet fra rotavskjær mot treetopp, når avstand fra marg er $x\text{-pos} = 4$, gran.



Figur 43. Variasjon i basisdensitet fra rotavskjær mot treetopp, når avstand fra marg er $x\text{-pos} = 5$, gran.

4.7 Variasjon mellom enkelttrær og bestand

Ved hjelp av lineær regresjonsanalyse og enveis variansanalyse, er det undersøkt hvilke forhold på enkelttre- eller bestandsnivå som isolert sett kan ha betydning for mekaniske og fysiske egenskaper.

4.7.1 Gran

I tabell 6 og 7 er sammenhenger med mer enn 5 % forklaringsgrad eller signifikant forskjell i egenskap på enkelttre- eller bestandsnivå merket med rødt.

Tabell 6. Sammenhenger mellom fysiske og mekaniske egenskaper og egenskaper på enkelttrenivå, gran.

	Basisdensitet			Volumkrymping			Elastisitetsmodul			Statisk bøyefasthet		
Diameter i brysthøyde	R ² = 0,01	p-value < 0,0001	RMSE = 37,1	R ² = 0,001	p-value = 0,0037	RMSE = 1,4	R ² = 0,02	p-value = 0,0006	RMSE = 3436,2	R ² = 0,05	p-value < 0,0001	RMSE = 11,0
Trehøyde	R ² = 0,04	p-value < 0,0001	RMSE = 36,9	R ² = 0,00	p-value = 0,1209	RMSE = 1,5	R ² = 0,00	p-value = 0,4563	RMSE = 3475,5	R ² = 0,03	p-value = 0,0001	RMSE = 11,1
Enkelttrebonitet	R ² = 0,15	p-value < 0,0001	RMSE = 34,7	R ² = 0,002	p-value < 0,0001	RMSE = 1,4	R ² = 0,01	p-value = 0,0143	RMSE = 3456,4	R ² = 0,05	p-value < 0,0001	RMSE = 11,0
Trealder	R ² = 0,09	p-value < 0,0001	RMSE = 35,8	R ² = 0,02	p-value < 0,0001	RMSE = 1,4	R ² = 0,01	p-value = 0,0286	RMSE = 3460,6	R ² = 0,02	p-value = 0,0016	RMSE = 11,2
Død grein	R ² = 0,01	p-value = 0,0004	RMSE = 37,4	R ² = 0,00	p-value = 0,5533	RMSE = 1,5	R ² = 0,00	p-value = 0,6696	RMSE = 3476,8	R ² = 0,01	p-value = 0,1060	RMSE = 11,3
Levende grein	R ² = 0,06	p-value < 0,0001	RMSE = 36,4	R ² = 0,00	p-value = 0,7888	RMSE = 1,5	R ² = 0,00	p-value = 0,6010	RMSE = 3476,5	R ² = 0,01	p-value = 0,0087	RMSE = 11,2
180 krone	R ² = 0,03	p-value < 0,0001	RMSE = 37,1	R ² = 0,01	p-value = 0,0016	RMSE = 1,4	R ² = 0,00	p-value = 0,1229	RMSE = 3459	R ² = 0,00	p-value = 0,7457	RMSE = 11,3
360 krone	R ² = 0,01	p-value < 0,0001	RMSE = 37,3	R ² = 0,02	p-value < 0,0001	RMSE = 1,4	R ² = 0,01	p-value = 0,0117	RMSE = 3455,1	R ² = 0,00	p-value = 0,2064	RMSE = 11,3
Sosial status	F = 12,0	p-value < 0,0001	DF = 1341	F = 16,3	p-value < 0,0001	DF = 1341	F = 5,4	p-value = 0,0049	DF = 492	F = 10,4	p-value < 0,0001	DF = 488

Tabell 7. Sammenhenger mellom fysiske og mekaniske egenskaper og egenskaper på bestandsnivå, gran.

	Basisdensitet			Volumkrymping			Elastisitetsmodul			Statisk bøyefasthet		
Foryngelsesmetode	F = 100,4	p-value < 0,0001	DF = 1342	F = 7,6	p-value = 0,0058	DF = 1342	F = 0,01	p-value = 0,9388	DF = 493	F = 3,31	p-value = 0,0693	DF = 489
Tynning / voksent bestand	F = 0,66	p-value = 0,4171	DF = 1342	F = 31,3	p-value < 0,0001	DF = 1342	F = 1,6	p-value = 0,2092	DF = 493	F = 0,11	p-value = 0,7497	DF = 489
Bestandsalder	R ² = 0,01	p-value = 0,0128	RMSE = 35,9	R ² = 0,02	p-value = 0,0006	RMSE = 1,37	R ² = 0,00	p-value = 0,7471	RMSE = 3386	R ² = 0,01	p-value = 0,1050	RMSE = 11,1
Bonitet	F = 9,85	p-value < 0,0001	DF = 442	F = 7,40	p-value < 0,0001	DF = 442	F = 3,2	p-value = 0,0236	DF = 174	F = 3,75	p-value = 0,0121	DF = 174
Terrenghelning	R ² = 0,00	p-value = 0,2484	RMSE = 37,5	R ² = 0,00	p-value = 0,9828	RMSE = 1,45	R ² = 0,01	p-value = 0,11	RMSE = 3468	R ² = 0,02	p-value = 0,0036	RMSE = 11,2
Terrengretning	F = 9,8	p-value < 0,0001	DF = 1335	F = 6,2	p-value < 0,0001	DF = 1335	F = 4,8	p-value < 0,0001	DF = 486	F = 10,0	p-value < 0,0001	DF = 482
Bestandstetthet	R ² = 0,00	p-value = 0,1943	RMSE = 37,5	R ² = 0,02	p-value < 0,0001	RMSE = 1,4	R ² = 0,00	p-value = 0,9760	RMSE = 3477,5	R ² = 0,01	p-value = 0,047	RMSE = 11,3
Høyde over havet	F = 24,8	p-value < 0,0001	DF = 1341	F = 8,9	p-value = 0,002	DF = 1341	F = 4,9	p-value = 0,0076	DF = 492	F = 6,3	p-value = 0,0019	DF = 488

4.7.2 Furu

I tabell 8 og 9 er sammenhenger med mer enn 5 % forklaringsgrad eller signifikant forskjell i egenskap på enkelttre- eller bestandsnivå merket med rødt.

Tabell 8. Sammenhenger mellom fysiske og mekaniske egenskaper og egenskaper på enkelttrenivå, furu.

	Basisdensitet			Volumkrymping			Elastisitetsmodul			Statisk bøyefasthet		
Diameter i brysthøyde	R ² = 0,00	p-value = 0,9899	RMSE = 61,00	R ² = 0,01	p-value = 0,0594	RMSE = 1,65	R ² = 0,01	p-value = 0,0198	RMSE = 3310	R ² = 0,01	p-value < 0,1198	RMSE = 16,1
Trehøyde	R ² = 0,00	p-value = 0,2126	RMSE = 60,92	R ² = 0,00	p-value = 0,9785	RMSE = 1,65	R ² = 0,00	p-value = 0,5170	RMSE = 3329	R ² = 0,00	p-value = 0,4194	RMSE = 16,1
Død grein	R ² = 0,05	p-value < 0,0001	RMSE = 59,57	R ² = 0,03	p-value < 0,0001	RMSE = 1,63	R ² = 0,09	p-value < 0,0001	RMSE = 3171	R ² = 0,11	p-value < 0,0001	RMSE = 15,2
Levende grein	R ² = 0,01	p-value = 0,0139	RMSE = 60,71	R ² = 0,00	p-value = 0,5771	RMSE = 1,65	R ² = 0,03	p-value = 0,0004	RMSE = 3283	R ² = 0,03	p-value < 0,0001	RMSE = 15,8
180 krone	R ² = 0,01	p-value = 0,0389	RMSE = 60,80	R ² = 0,00	p-value = 0,3542	RMSE = 1,65	R ² = 0,02	p-value = 0,002	RMSE = 3295	R ² = 0,02	p-value = 0,0028	RMSE = 15,9
360 krone	R ² = 0,00	p-value = 0,2190	RMSE = 60,93	R ² = 0,00	p-value < 0,7875	RMSE = 1,65	R ² = 0,02	p-value = 0,009	RMSE = 3304	R ² = 0,01	p-value = 0,0114	RMSE = 16,0
Sosial status	F = 5,7	p-value = 0,0036	DF = 655	F = 9,5	p-value < 0,0001	DF = 655	F = 17,0	p-value < 0,0001	DF = 437	F = 13,3	p-value < 0,0001	DF = 437

Tabell 9. Sammenhenger mellom fysiske og mekaniske egenskaper og egenskaper på bestandsnivå, furu.

	Basisdensitet			Volumkrymping			Elastisitetsmodul			Statisk bøyefasthet		
Tynning / voksent bestand	F = 0,00	p-value = 0,9666	DF = 655	F = 6,03	p-value = 0,0143	DF = 655	F = 0,8474	p-value = 0,3577	DF = 437	F = 0,0001	p-value = 0,9907	DF = 437
Bonitet	F = 2,24	p-value = 0,1300	DF = 128	F = 0,0002	p-value < 0,9800	DF = 128	F = 0,2823	p-value = 0,5966	DF = 86	F = 0,1039	p-value = 0,748	DF = 86
Terrenghelning	F = 7,85	p-value < 0,0001	DF = 655	F = 16,92	p-value < 0,0001	DF = 655	F = 4,46	p-value = 0,0006	DF = 437	F = 6,25	p-value < 0,0001	DF = 437
Terrengretning	F = 11,40	p-value < 0,0001	DF = 455	F = 23,87	p-value < 0,0001	DF = 455	F = 13,58	p-value < 0,0001	DF = 302	F = 18,65	p-value < 0,0001	DF = 302
Bestandstetthet	R ² = 0,02	p-value = 0,0041	RMSE = 58,95	R ² = 0,02	p-value = 0,0019	RMSE = 1,69	R ² = 0,02	p-value = 0,02	RMSE = 3296	R ² = 0,03	p-value = 0,0011	RMSE = 15,67
Høyde over havet	F = 3,11	p-value = 0,0452	DF = 655	F = 1,05	p-value = 0,3512	DF = 655	F = 3,18	p-value = 0,0427	DF = 437	F = 3,72	p-value = 0,0251	DF = 437

4.8 Modellering av mekaniske og fysiske egenskaper

Multipel lineær regresjonsanalyse er forsøkt benyttet til å modellere mekaniske og fysiske egenskaper på gran. Det har vist seg at denne metoden er lite egnet til prediksjon av vedegenskaper. Det henvises til Bramming og Øvrum (2005).

5. Diskusjon

Et stort antall prøver har vært tilgjengelige i denne undersøkelsen, hvilket har medført at man med stor sikkerhet kan uttale seg om nivå på egenskaper og sammenheng mellom egenskaper. Test av mekaniske og fysiske egenskaper er utført i henhold til Skanorm (Kucêra 1992). Dette resulterer i at man kan sammenligne med tidligere undersøkelser på små feilfrie prøver. Tabell 10 viser resultater funnet i denne undersøkelsen sammenlignet med Wagenführ (1996).

Tabell 10. Verdier i denne undersøkelsen sammenlignet med Wagenführ (1996).

	Gran			Furu		
	Gjennomsnittsverdier fra denne undersøkelsen	Gjennomsnittsverdier fra Wagenführ (1996)	Forskjell i prosent	Gjennomsnittsverdier fra denne undersøkelsen	Gjennomsnittsverdier fra Wagenführ (1996)	Forskjell i prosent
Basisdensitet (kg/m³)	360	380	- 6 %	420	440	- 5%
Elastisitetsmodul (N/mm²)	13 400	11 000	+ 22 %	12 500	12 000	+ 4 %
Statisk bøyefasthet (N/mm²)	75	78	- 4%	82	80	+ 3 %
Volumkrymping (%)	10,9	11,6 – 12,0	mellom - 6 % og - 10 %	10,7	11,2 – 12,4	mellom - 5 % og - 16 %
Tangentiell krymping (%)	7,1	7,8 -8,0	mellom - 10 % og - 13 %	6,6	7,5 – 8,7	mellom - 14 % og - 32 %
Radiell krymping (%)	4,0	3,5 – 3,7	mellom + 8 % og + 14 %	4,2	3,3 – 4,5	mellom + 27 % og - 7 %
Lengdekrymping (%)	0,2	0,3		0,2	0,2 -0,4	

Tabell 10 viser at elastisitetsmodulen for gran funnet i denne undersøkelsen er betraktelig høyere enn verdier funnet av Wagenführ (1996). For andre mekaniske egenskaper er det små forskjeller. Volum og tangentiell krymping er generelt lav i denne undersøkelsen, mens radiell krymping er noe høyere enn hva man har funnet tidligere. Krymping i lengderetning er generelt vanskelig å måle fordi den er så liten. Man må regne med at disse registreringene er beheftet med en stor grad av unøyaktighet. Tabell 10 viser at det er grunn til å anta at det er forskjeller mellom norskvokst virke og virke fra andre deler av Europa undersøkt av Wagenführ (1996). Videre undersøkelser vil være nødvendig for å fastslå dette.

5.1 Variasjon i x- og y-retning

Enveis variansanalyse har vist at det ikke er signifikant variasjon i basisdensitet, statisk bøyefasthet og elastisitetsmodul fra marg mot bark. Dette gjelder både gran og furu. Volumkrymping og krymping i tangentiell- og lengderetning ser ut til å variere signifikant fra marg mot bark. For både gran og furu har toveis variansanalyse vist at det er statistisk sikre forskjeller i basisdensitet, volumkrymping, tangentiell krymping, longitudinal krymping og fibervinkel fra marg mot bark, når man tar hensyn til y-posisjon i det stående tre. For furu er det i tillegg signifikant forskjell i elastisitetsmodul og statisk bøyefasthet fra marg til bark. For gran viser både enveis og toveis variansanalyse altså ingen signifikant forskjell i elastisitetsmodul og statisk bøyefasthet fra marg til bark.

Enveis variansanalyse er en enkel metode for å undersøke hvordan en egenskap varierer i x- og y-retning på det stående tre. I denne analysemetoden tar man imidlertid ikke høyde for den store spredningen som er i datamaterialet. Stor spredning oppstår fordi det er gjort undersøkelser fra mange x- og y-posisjoner i hvert tre, og fordi det er undersøkt trær med ulikt sosial status, fra ulike boniteter, fra ulik høyde over havet og så videre. En toveis variansanalyse viser om det er forskjell i egenskapen i x-retning når man ser på samme nivå i y-retning, og motsatt. Metoden som er benyttet gir imidlertid ingen informasjon om hvor stor denne variasjonen er, eller hvor den ligger. Stor spredning i datamaterialet medfører at det blir vanskelig å gi klare konklusjoner på grunnlag av enkle statistiske beregningsmetoder. I videre analyser vil det være naturlig å se på hvordan data kan struktureres for å benytte mer avanserte metoder.

Metoden for uttak av prøver gir også visse begrensninger. Man benytter kun små feilfrie prøver, hvilket medfører at prøver med tennar, ungdomsved, perlekvist etc. sorteres ut. Perlekvistproblemet er spesielt for gran, siden furu ikke setter perlekvister. For gran vil antall prøver i posisjon nærmest margen være mindre enn for eksempel i posisjon 2 og 3. Jo lengre prøvestykket skal være, jo vanskeligere vil det være å finne feilfri ved i utsaget prøve. Derfor påvirkes test av elastisitetsmodul og statisk bøyefasthet mer av manglende verdier nærmest marg, enn test av densitet og krymping. Jo større avstand fra marg, jo mindre antall prøver vil det være. Små trær gir stammeskiver med liten diameter og derfor et lite antall prøver til testing. De største trærne er i større grad representert i datagrunnlaget.

Når man ser på variasjon i treets lengderetning, er det funnet flere sammenhenger. For gran ser de mekaniske egenskapene ut til å øke fra rot mot topp, mens det for furu er en tendens til at verdiene avtar i lengderetningen. For furu er den signifikant høyeste volumkrympingen og krymping i tangentiell retning ved rotavskjær. Krympingen avtar signifikant frem mot 75 % av trehøyden. For gran finner man et annet bilde. Krympingen er signifikant lavest ved rotavskjær, for deretter å øke mot 25 % av trehøyden. Man må huske på at antall prøver reduseres fra rotavskjær mot topp. Ved 75 % av treets høyde vil det ofte være så liten

diameter på stammeskiven at det ikke er mulig å få ut prøver i det hele tatt. Det betyr at jo nærmere man er treets topp, jo mer usikre estimerer.

Forløpet av fibervinkelen fra marg mot bark, og fra rot mot topp, ser ut til å stemme godt overens med tidligere undersøkelser (Bramming 2001). Ser man imidlertid på den absolutte verdi av fibervinkelen, er det ingen signifikant forskjell i avstand fra marg eller avstand fra rotavskjær. I trebearbeidende industri er fibervinkelens størrelse i forhold til marg mer interessant enn hvilken retning den har. Unntaket er lafteindustrien, hvor man ønsker samme fibervinkelretning på alle stokkene. Dette for at unngå at hele stokker vrir seg ut av tømmerveggen.

5.2 Variasjon mellom enkelttrær og mellom bestand

Sammenhengen mellom vedegenskaper og egenskaper på enkelttre- eller bestandsnivå er hver for seg generelt meget svak. I de beste tilfeller vil man kunne forklare opp mot 15 % av variasjonen i fysiske og mekaniske egenskaper ut fra forhold registrert på det enkelte tre eller i det enkelte bestand. Multippel lineær regresjonsmetode med enkelttre- og bestandsvariabler som forklaringsvariabler har vist seg å være en lite egnet metode for å forutsi vedegenskaper på dette materialet (Bramming & Øvrum 2005). Andre metoder må prøves ut. Man kan tenke seg at analyse på gjennomsnittsverdier per stammeskive, tre eller bestand vil gi bedre analyser. Da vil man eliminere problemet med at store trær med mye feilfri ved er overrepresentert i datamaterialet. Dette vil kanskje gjøre det mulig å komme med klarere konklusjoner på hvordan egenskaper på stående trær eller bestand innvirker på vedegenskapene. For eksempel kan gjennomsnittsverdier per tre på statisk bøyefasthet sammenlignet med treets sosiale status, sannsynligvis gi bedre forklaring på sammenhengen mellom vekstvilkår og styrke. Man kan også tenke seg at det kan utføres analyser på sammenhenger mellom de enkelte træs trendkurver. Her kan man sammenligne forløpet fra rot til topp og fra marg til bark på hver enkelt egenskap, mellom de enkelte trær. En annen metode er å velge en eller flere definerte posisjoner i hvert tre. Vedegenskapsverdier for disse faste punkter analyseres da med hensyn til sammenhenger mellom enkelttrevariabler og vedegenskap. Den sammenheng som man eventuelt finner, vil da imidlertid bare gjelde for disse eksakte, avgrensede områder i et stående tre. Man må da definere hvilke posisjoner i treet som er interessante å undersøke nærmere.

5.3 Korrelasjon mellom egenskaper

I undersøkelsen er det funnet god lineær sammenheng mellom densitet og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,62$ for gran og $R^2 = 0,72$ for furu). Det betyr at densitetsmåling er en forholdsvis god metode for å predikere statisk bøyefasthet. Man må imidlertid huske på at dette gjelder små feilfrie prøver, og at det derfor ikke er tatt høyde for kvist, tennar og annet som innvirker på styrken av bruksdimensjoner. Årringbredde er ingen god variabel for å forklare variasjonen i bøyefasthet. Bare 28 % av variasjonen kan forklares ut fra variasjon i årringbredde for gran. For furu forklares 23 %. Det er ikke så enkelt som at smale årringer gir sterkt virke. Årringbredde kan være med å forklare, men andre faktorer spiller i stor grad inn på styrken.

Elastisitetsmodul kan testes ved hjelp av ikke-destruktive metoder, og er benyttet i blant annet styresorteringsmaskiner for å predikere bøyefasthet. I denne undersøkelsen er det funnet at variasjon i elastisitetsmodul forklarer 48 % av variasjon i statisk bøyefasthet for gran. For furu er det bedre sammenheng, her forklares 63 % av variasjonen. Også her vil det sannsynligvis være nyanserte forhold når man ser på bruksdimensjoner fremfor små feilfrie prøver.

Det er i denne undersøkelsen ikke funnet signifikante sammenhenger eller tydelige tendenser mellom vedegenskaper og fibervinkel. Grunnen til dette kan ligge i uttaksmetoden. Stammeskivene som ble benyttet til måling av fibervinkel er tatt ut like under stammeskivene til undersøkelse av bøyefasthet, elastisitetsmodul etc. Fibervinkel fra marg mot bark er registrert i eksakt forhold til marg på stående tre. Når det ble tatt ut 300 mm og 30 mm prøver til måling av krymping, elastisitetsmodul etc., forsøkte man å ta ut prøvene så parallelt med margen som mulig. Sannsynligvis har dette ikke vært gjort nøyaktig nok. Så lenge fibervinklene målt for det meste ligger mellom 0° og 4° er det veldig lite unøyaktighet i uttak av 300 mm og 30 mm prøvene som skal til, før eventuelle signifikante sammenhenger forsvinner. Ved PFI er mikrofibrillvinkel undersøkt på det samme materiale. Videre analysearbeid på sammenhenger mellom mikrofibrillvinkel og mekaniske og fysiske egenskaper vil være naturlig. Her er man ikke avhengig av eksakt uttak av prøver i forhold til treets marg.

6. Konklusjon

I denne delen av SSFF-prosjektet er det etablert en unik database med egenskaper av betydning for skogindustri, trebearbeidingsindustri og treforedlingsindustri. Denne rapporten behandler de første enkle analyser av mekaniske og fysiske egenskaper på feilfri ved. Analysene foretatt på materialet så langt er ikke komplette, det ligger ikke innenfor rammene gitt i dette prosjekt. Denne rapport berører kun overflaten i det hav av muligheter som ligger i materialet som er samlet inn.

Elastisitetsmodulen for gran funnet i denne undersøkelsen er betraktelig høyere enn verdier funnet av Wagenführ (1996). For andre mekaniske egenskaper er det små forskjeller. Volum- og tangentiell krymping er generelt lav i denne undersøkelsen, mens radiell krymping er noe høyere enn hva man har funnet tidligere.

I denne undersøkelsen er det ikke funnet signifikante sammenhenger mellom mekaniske egenskaper og prøvens plassering i x-retning (horisontalt) for gran. For furu ser det ut til at avstand fra marg til en viss grad kan forklare variasjon i mekaniske egenskaper, når man tar hensyn til y-posisjonen i det stående tre. Variasjon i krymping ser ut til i noen grad å kunne forklares ut fra avstand til marg. For gran ser de mekaniske egenskapene generelt ut til å øke fra rot mot topp, mens det for furu er det en tendens til at verdiene avtar i lengderetningen. For furu er den signifikant høyeste volumkrympingen og krymping i tangentiell retning ved rotavskjær. Krympingen avtar signifikant frem mot 75 % av trehøyden. For gran finner man signifikant lavest krymping ved rotavskjær, og deretter økning mot 25 % av trehøyden.

I undersøkelsen er det funnet god lineær sammenheng mellom densitet og statisk bøyefasthet ($R^2 = 0,62$ for gran og $R^2 = 0,72$ for furu). Det betyr at densitetsmåling er en god metode for å predikere statisk bøyefasthet på små feilfrie prøver. Det er funnet at variasjon i elastisitetsmodul forklarer 48 % av variasjon i statisk bøyefasthet for gran. For furu er det bedre sammenheng, her forklares 63 % av variasjonen. Det er ikke funnet signifikante sammenhenger eller tydelige tendenser mellom mekaniske og fysiske egenskaper og fibervinkel. Årsaken kan være relativ liten fiberhelling i materialet kombinert med unøyaktig uttak av prøver i forhold til marg på det stående tre.

Enkel lineær regresjonsanalyse viser at sammenhengen mellom vedegenskaper og egenskaper på enkelttre- eller bestandsnivå generelt er meget svak. I de beste tilfeller vil man kunne forklare opp mot 15 % av variasjonen i vedegenskaper ut fra forhold registrert på det enkelte tre eller i det enkelte bestand. Multipl regressjonsanalyse er forsøkt benyttet til å modellere mekaniske og fysiske egenskaper på gran. Det har vist seg at denne metoden er lite egnet til prediksjon av vedegenskaper. Modellene som er forsøkt benyttet er for enkle for å forklare det komplekse samspill mellom egenskaper.

Dataanalysen er som tidligere nevnt bare i sin startfase, og videre arbeid vil kunne gi bedre resultater på sammenhenger mellom egenskaper på bestands-, enkelttre-, ved- og fibernivå. En videreføring av denne kunnskap ut til de enkelte bedriftene for å gi bedre råstoffdifferensiering, økt kvalitetsnivå og hindre uønsket kvalitetsvariasjoner, vil være en naturlig del av det kommende arbeidet.

7. Litteratur

Bramming, J., 2001. Modelling av fiberegenskaper hos gran (*Picea abies* (L.) Karst.) i Østfold. Hovedfagsoppgave i treteknologi, Institutt for skogfag, Norges Landbrukshøgskole.

Bramming, J. & Øvrum, A., 2005. Modelling of physical and mechanical wood properties of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) grown in Norway. Norsk Treteknisk Institutt. Paper til den femte workshop 5.01.04 IUFRO, november 2005.

Kucêra, B., 1992. Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre. Skogforsk. Norwegian Forest Research Institute, Department of Forestry, Agricultural University of Norway.

Molteberg, D., 2004. Methods for the determination of wood properties, kraft pulp yield and wood fibre dimensions on small wood samples. Wood Sci Technol 37 (2004) 395-410.

Panshin, A.J., de Zeeuw, C., Brown, H.P., 1964. Textbook of wood technology, vol. 1, 2nd edn.

Vadla, K., 2006. Virkesegenskaper hos gran og furu fra forskjellige lokaliteter i Sør-Norge. Wood Properties of Spruce and Pine from Various Sites in Southern Norway. Forsking fra Skog og Landskap. Manuskript under trykk.

Wagenführ, R., 1996. Holzatlas. Fachbuchverlag, Leipzig, Deutschland.

Wenderdel, C., 2006. Internship report. NTI Oslo.

Wenzlow, C., 2006. Untersuchung ausgewählter Eigenschaften von *Pinus sylvestris* L. aus Teilen Südnorwegens im Hinblick auf soziale und geografische Gegebenheiten sowie der horizontalen und vertikalen Positionierung im Stamm. Diplomarbeit. Fachhochschule Eberswalde. Holztechnik.