



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp.

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Modellering av densitet og mekaniske egenskaper til trelast av furu (*Pinus sylvestris*) fra Troms og Finnmark, med fokus på skogskjøtselstiltak

Modeling density and mechanical properties in Scots pine timber (*Pinus sylvestris*) from Troms and Finnmark, with focus on silviculture

Ingvild Bergerud

Skogfag

Forord

Med denne oppgaven avslutter jeg min femårige høyere utdanning innenfor skogbruk, hvorav de siste to årene ble tilbragt ved Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet, ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning. Oppgaven skrives ut ifra et pågående prosjekt mellom NIBIO, NMBU, Statskog, Finnmarkseiendommen og Fylkesmannen i Troms og Finnmark.

Først og fremst vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder, professor Geir Isak Vestøl ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, for ideen bak oppgaven, gode tilbakemeldinger underveis, tålmodighet og uvurderlig veiledning i en tidvis krevende skriveprosess. Videre vil jeg også takke min medveileder, professor Olav Høibø ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, for engasjement rundt oppgaven og for faget treteknologi.

Sits, men ikke minst, vil jeg rette en stor takk til familie, venner og medstudenter som har bidratt på ulike måter gjennom studieløpet, og gjort det mulig for meg å fullføre. Tusen takk!

Ingvild Bergerud

Veggli, 27. mai 2021

Sammendrag

Med dagens høye avvirkning er det mye fokus på hvordan skogbruket kan øke volumtilveksten, og de mekaniske egenskapene er essensielle for bruken av trevirke i bærende konstruksjoner. En studie fra 1963 undersøkte styrkeegenskapene til furu (*Pinus sylvestris*) fra Nord-Norge. Resultatene viste den gang at trevirket fra området ikke egent seg som konstruksjonsvirke, og det ble frarådet å bruke trevirket til dette formålet. Målet med denne studien er å undersøke egenskapene til konstruksjonsvirke av furu fra Troms og Finnmark, med hensikt på å forklare variasjonen i virkesegenskaper relatert til skogskjøtselstiltak og forhold på voksestedet.

Trevirket ble samlet inn fra fire lokasjoner i Troms og Finnmark. Det ble samlet inn fra ti bestand, hvor det var 12 trær fra hvert bestand. Trærne ble kappet til stokker, før de til slutt ble skåret til plank. Totalt ble det skåret 650 planker av trevirket som ble samlet inn. Plankene ble deretter fraktet til NMBU for klimatisering og testing. E-modul, bøyefasthet og densitet ble testet i henhold til NS-EN 408. Det ble utført en varianskomponentanalyse av egenskapene, før variablene ble lagt inn og kjørt ved bruk av lineær mikset modell.

Resultatene viste at densitet avtok med relativ høyde i trærne og med gjennomsnittlig årringbredde i brysthøyde. E-modul og bøyefasthet var negativt påvirket av relativ høyde, relativ diameter i brysthøyde, bonitet og temperatursum. E-modul og bøyefasthet positivt påvirket av densitet og negativt påvirket av kvist. Modellene basert på bestands-, tre- og stokkdata ble sammenlignet med modellene basert på densitet og kvistdata for E-modul og bøyefasthet for å undersøke hvilke som forklarte variasjonen i størst grad.

Effekten av skogskjøtselstiltak vil ikke være like stor i studieområdet som i andre deler av landet, grunnet lav bonitet og kort vekstsesong. Enkelte skjøtselstiltak kan likevel bidra med å bedre styrkeegenskapene. Eksempelvis vil rotasjonsalder og bestandstetthet være noe skogeier bør ta hensyn til ved avvirkning og etablering av bestand. Resultatene fra denne studien indikerer at egenskapene til konstruksjonsvirke av furu fra Troms og Finnmark ikke er så dårlig som tidligere antatt. En annen rapport fra prosjektet vil undersøke hvordan trevirket kan klassifiseres i henhold til NS-EN 338.

Abstract

With the high harvest in today's forestry, there is a lot of focus on how forestry can increase volume growth, and the mechanical properties are essential for how the wood is used in load-bearing structures. A study from 1963 examined the strength properties of pine (*Pinus sylvestris*) from Northern-Norway. The results showed at the time that the wood from the area was not suitable as construction wood, and it was not recommended to use the wood for this purpose. The aim of this study is to investigate the properties of construction timber of pine from Troms and Finnmark, with the intention of explaining the variation in timber properties related to forest management measures and conditions at the growth site.

The wood was collected from four locations in Troms and Finnmark. It was collected from ten stands, where there were 12 trees from each stand. The trees were cut into logs, before they were finally cut into boards. A total of 650 boards were cut from the trees. The boards were then transported to NMBU for acclimatization and testing. Modulus of elasticity, bending strength and density were tested according to NS-EN 408. A variance component analysis of the different properties was performed before the variables were entered and run using a linear mixed model.

The results showed that density decreased with relative height in the trees and with average annual ring width at breast height. Modulus of elasticity and bending strength were negatively affected by relative height, relative diameter at breast height, site index and temperature sum. Modulus of elasticity and bending strength were positively affected by density and negatively affected by knots. The models based on stand-, tree- and log data were compared to the models based on density and knot data for modulus of elasticity and bending strength to investigate which explained the variation to the greatest extent.

The effect of forest management measures will not have as great an effect in the study area as in other parts of the country, due to low site index and a short growing season. Some management measures can nevertheless help improve the strength properties. For example, rotation age and stand density is something forest owners should consider when harvesting and establishing a stand. The results from this study indicate that the properties of construction timber of pine from Troms and Finnmark are not as poor as previously thought. Another report from the project will examine how the wood can be classified in accordance with NS-EN 338.

Innholdsfortegnelse

Forkortelser	6
1. Innledning	7
1.1 Mål for studien.....	11
2. Materiale og metoder	12
2.1 Områdebeskrivelse	12
2.2 Datainnsamling i felt	13
2.3 Datainnsamling på LAB	15
2.4 Databehandling og modellering.....	20
3. Resultater	24
3.1 Densitet	25
3.2 MOE	27
3.3 MOE, densitet og kvist	28
3.4 MOR	30
3.5 MOR, densitet og kvist.....	32
4. Diskusjon	34
4.1 Variablenes effekt på densitet, E-modul og bøyefasthet	34
4.1.1 Årringbredde	34
4.1.2 Bonitet og temperatursum	35
4.1.3 Relativ DBH og relativ høyde	36
4.1.4 Densitet og kvist mot E-modul og bøyefasthet	38
4.1.5 Variabler ikke inkludert i modellene.....	41
4.2 Resultatene knyttet opp mot skogskjøtsel	42
4.3 Feilkilder.....	45
5. Konklusjon.....	46
Litteraturliste	47

Forkortelser

Tabell 1. Forkortelser brukt i oppgaven med definisjon.

SYMBOL	DEFINISJON
Age	Alder i brysthøyde, 1,3 meter over stubbeavskjær
ALT	Høyde over havet målt i meter
DBH	Diameter i brysthøyde for hvert enkelt tre
DBH _{rel}	Relativ diameter i brysthøyde for hvert enkelt tre
Dens	Trevirkets densitet, forhold mellom masse og volum, korrigert til 12% fuktighet
H360	Kronehøyde, hvor krona går 360 grader rundt stammen
H _{rel}	Relativ langsgående stokkposisjon i treet, målt i prosent
H	Høyde fra stubbeavskjær til midtpunktet i testet plankes posisjon i stammen
KC	Knot cluster – største samling av kvist på flatside målt på tvers av plankeretningen
KE	Knot edge – største kvist på kantside målt på tvers av plankeretningen
KF	Knot face – største kvist på flatside målt på tvers av plankeretningen
ÅB _{gj.snitt}	Gjennomsnittlig årringbredde målt i brysthøyde
MOE	E-modul, korrigert til 12% fuktighet
MOR	Bøyefasthet, dimensjonskorrigert
SI	Bonitet H40
Tsum	Temperatursum regnet ut basert på lengde- og breddegrad, etter Morén & Perttu (1994)

1. Innledning

Skogen, og ressursene den tilbyr, har vært og er fortsatt en viktig del av norsk historie. I årtusener har tømmer fra norske skoger blitt brukt som materiale i bygging av alt fra skip, verktøy, møbler og hus, til i dag å også bli benyttet til bygging av hytter, store konstruksjoner som broer i tillegg til verdens høyeste trebygning, Mjøstårnet. Det grønne skiftet er en viktig del av dagens miljøfokus, noe som for skogbruket naturlig nok betyr økt fokus på trevirke som en fornybar ressurs. Ved bruk av trevirke som konstruksjonsvirke vil egenskapene være avgjørende for hva trevirket kan brukes til.

Avvirkningen av tømmer for salg i Norge har vist en økende trend gjennom det siste tiåret, og nådde et rekordnivå i 2019, med ca. 11 millioner m³ avvirket (Skara & Rundtom, 2020). I 2020 var det en liten nedgang i avvirkningen, hvor om lag 10,24 millioner m³ ble avvirket. Av dette var det 1 529 000 m³ sagtømmer av furu (*Pinus sylvestris*) (SSB, 2021). Det stående volumet i skogen har tredoblet seg de siste 100 årene, og den årlige tilveksten er mer enn dobbelt så høy i forhold til hva den var på 1920-tallet (NIBIO, 2019). Den årlige tilveksten er betydelig høyere enn avvirkningen, og det er derfor ingen grunn til å tro at avvirkningen kommer til å avta i de kommende årene.

Området trevirket i denne studien er hentet fra, Troms og Finnmark, er sjeldent assosiert med hverken konstruksjonsvirke, tømmer eller skogsdrift. Skogarealet i Troms består av 88% lauvdominert skog, mens 6% er furudominert skog. Dette tilsvarer 24 900 hektar med produktiv skog som er furudominert. Over halvparten av skogarealet i Troms er hogstmoden skog i hogstklasse 5, men det største volumet av furu finnes i hogstklasse 3 og 4. I Finnmark består ca. 90% av skogarealet av bjørkeskog, mens ca. 10% består av furudominert skog. Noe som tilsvarer 69 000 hektar produktivt skogareal som er furudominert. Skogarealet består av en stor andel skog i hogstklasse 4 og 5, men den største volumandelen til er i hogstklase 3, etterfulgt av en omtrent lik fordeling mellom hogstklasse 4 og 5 (Andreassen, Eriksen, Tomter & Granhus, 2012, s. 6 – 11; Finnmarkseiendommen, u.å.). Til tross for en stor andel lauvskog i fylket, er furu det dominerende treslaget.

I studieområdet har furu blitt brukt som byggemateriale i lang tid, men trevirkets styrkeegenskaper er svært lite undersøkt. De fleste studiene gjort på styrkeegenskaper hos furu i Norge har hentet trevirke fra sørligere deler av landet. En av få undersøkelser gjort på furu fra

Troms og Finnmark ble utført av Foslie (1963). Han undersøkte små feilfrie prøver av furu fra Pasvik og Østlandet, og sammenlignet resultatene. Her fant han at furua fra Pasvik hadde 22 – 31% lavere bøyefasthet, og 17% lavere stivhet enn furua fra Østlandet. Det ble dermed konkludert med at styrkeegenskapene til furua fra Pasvik var betydelig lavere enn furua fra Østlandet, og det ble advart mot bruk av furu fra Pasvik i bærende konstruksjoner (Prosjektbeskrivelse, u. å.). På grunn av det kalde klimaet i Nord-Norge er forventningen at trevirke fra området har lav densitet, og det har dermed vært usikkerhet rundt egnetheten til trevirket som konstruksjonsvirke.

Konstruksjonsvirke er en samlebetegnelse på trevirke som er sortert ut ifra styrke, og anvendes som blant annet takbjelker, bjelkelag, stendere og taksperer (Øvrum & Skaug, 2012, s. 2). Konstruksjonsvirke er blant de viktigste produktene fra norske sagbruk, og ifølge Øvrum (2011) viser uoffisielle tall at så mye som en tredjedel av trelasten i Norge blir styrkesortert. Konstruksjonsvirke deles inn i fasthetsklasser (Tabell 2) med ulike krav til densitet og mekaniske egenskaper, i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2019). Disse klassene er satt opp ettersom det er store forskjeller i egenskapene til konstruksjonsvirke. For fasthetsegenskaper og densitet gjelder kravene nedre 5-prosentil, som vil si at 95% av alle plankene i en klasse skal oppfylle kravet for styrkeegenskaper i denne klassen. For E-modul er det krav til gjennomsnittsverdien som dokumenteres. Sortering skjer enten gjennom visuell sortering eller maskinell sortering, hvor sistnevnte er mest brukt i dag. Den mest brukte styrkesorteringsmaskinen er i dag basert på resonansfrekvens og E-modul, men kvist, fiberhelling og årringbredde inngår i såkalt visuell tilleggssortering (Bramming, u.å.).

Tabell 2. *Krav for bøyefasthet, E-modul og densitet for fasthetsklasser for konstruksjonsvirke. Kilde: NS-EN 338.*

Fasthetsklasser	Bøyefasthet (N/mm²)	E-modul (kN/mm²)	Densitet (kg/m²)
NS-EN 338	5-persentil	Gjennomsnitt	5-persentil
C14	14	7	290
C18	18	9	320
C24	24	11	350
C30	30	12	380

I dagens skogbruk er det mye fokus på tilvekst, og hvordan den kan økes. Trevirkets densitet og mekaniske egenskaper er det ikke like stor oppmerksomhet rundt i det kommersielle skogbruket, men det er de viktigste egenskapene for trevirke som skal benyttes som

konstruksjonsvirke. Denne studien skal undersøke tre egenskaper hos trevirke som har stor betydning for bruk av trelast som konstruksjonsvirke. De tre egenskapene er densitet, E-modul og bøyefasthet. E-modul er trevirkets elastisitetsmodul og beskriver forholdet mellom spenning og relativ deformasjon ved relativt små belastninger. Dette er en viktig egenskap som brukes til å dimensjonere for krav til deformasjoner, for eksempel bjelkelag i gulv. Deformasjonen som påføres under testing går tilbake uten å påføre trevirket noen form for skade (Kollmann & Côté, 1968, s. 292). Bøyefasthet er den maksimale spenningen trevirket tåler før det oppstår brudd (Thaulow, 2018). De mekaniske egenskapene, som blant annet E-modul og bøyefasthet, påvirkes av de fysiske og anatomiske egenskapene til treet.

Densitet er en av de viktigste fysiske egenskapene og har stor betydning for de mekaniske egenskapene til trevirket (Skogstad, 2009, s. 29). Densitet bestemmes av porøsitet (andel hulrom) og fuktighet, og er ikke konstant for et stykke ved. Variasjonen i densitet avhenger av en rekke faktorer, og er resultatet av et samspill mellom disse faktorene. Det kan deles inn i to kategorier, som er arv og miljø (Nagoda, 1985, s. 7). Densitet varierer mellom treslag, og påvirkes av treet voksested (Barnett & Jeronimidis, 2003, s. 7). Variasjonen forekommer også mellom regioner, mellom bestand, mellom trær i et bestand og innad i det enkelte treet. For furu vil densiteten normalt avta oppover i stammen (Krzosek et al., 2020, s. 3). Forholdet mellom vekstrate og densitet er komplisert og uklart for en rekke arter i Pinus-slekten, inkludert furu (Zangh, 1995, s. 452).

Det er allikevel kjent at voksestedet og klima vil gi variasjon i densitet, og alle faktorer som påvirker veksten påvirker også egenskapene. Noen faktorer som har dokumentert innvirkning på densitet derimot er høyde over havet, hvor densiteten avtar med økende høyde (Kollmann og Côté, 1968, s. 168). Dette kan forklares med temperatur som også er funnet å ha en effekt på densitet, hvor høyere temperaturer gir høyere densitet ved samme årringbredde (Kilpeläinen et al., 2003, s. 889). Hos furu er det også variasjon i densitet innad i årringen, hvor tidligveden har lavere densitet enn seinveden. Dette er fordi tidligveden har tynnere cellevegger og mer hulrom, som gir mindre masse per volumenhet enn hos seinveden i årringen. Det er en tydeligere sammenheng i kontrasten for densitet mellom tidlig- og seinved hos bartrær og ringpora lauvtrær enn hos andre trearter (Kollmann og Côté, 1968, s. 173). Bonitet er en annen viktig faktor som påvirker densiteten, hvor høyere bonitet vil gi lavere styrkeegenskaper. Til tross for at bredden til seinveden øker med økende årringbredde vil andelen tidligved øke siden bredden til tidligveden øker mer. En kombinasjon av høy bonitet og et kaldt klima gir en

forventning om lav densitet i trevirket fra slike områder. Effekten av jordsmonn på densitet gir utslag gjennom økt årringbredde på bedre boniteter, som fører til lavere densitet ettersom bredden på tidligveden øker mer enn bredden på seinveden i tillegg til at andelen tidligved øker.

Treets alder kan også påvirke egenskapene, da andelen ungdomsved er høyere hos yngre trær. Ungdomsveden består av de seks til tjue første årringene hos furu, og har andre fysiske og anatomiske egenskaper enn resten av veden. Ungdomsveden har en høyere mikrofibrillvinkel, kortere fiber og lavere densitet enn voksen ved, noe som kan påvirke krympingen og de mekaniske egenskapene til trevirket (Forest Products Laboratory, 1999, s. 4,32). Bartrær har lange fibre som går i treets lengderetning, hvor kortere fiber vil redusere de mekaniske egenskapene (O. Høibø, personlig kommunikasjon, januar 2020). I tillegg vil fiberhelning påvirker disse egenskaper, hvor E-modul påvirkes mest. Der fibre går parallelt med treets lengderetning vil det gi høyere E-modul. Feil kan også påvirke E-modul og bøyefasthet, som f.eks. tennar der mikrofibrillene i S2 laget i cellene har en høyere mikrofibrillvinkel enn normal ved hvor mikrofibrillene går tilnærmet parallelt med cellenes lengderetning (Dreyer & Leban, 2012, s. 209 - 210).

Feil i trevirket kan gjøre at det nedklassifiseres, og kvist er en av de viktigste nedklassingsårsakene for konstruksjonsvirke. Rundt en kvist oppstår det fiberforstyrrelser som reduserer de mekaniske egenskapene. Bøyefasthet vil reduseres betydelig med økende vinkel mellom spenningene og fibre (Høibø & Vestøl, 2010). En kvist vil føre til fiberhelling og redusert bøyefasthet. Plassering i stamme, diameter og tilstand på kvist spiller en viktig rolle, hvor økt kvistdiameter reduserer styrken i større grad enn lavere kvistdiameter. Det skyldes at størrelsen på kvisten er avgjørende for avviket i fiberretning. Om kvisten er levende eller tørr vil ikke påvirke egenskapene nevneverdig (Forest Products Laboratory, 1999, s. 4,27). Vekstforhold og planteavstand vil påvirke kvistdiameter, hvor økt tilgang på næring og lys gir mye og stor kvist. For furu er kvist en ytterligere faktor til at toppstokkene oftest har lavere styrkeegenskapene enn rotstokkene, da kvistdiameteren øker og densitetens synker med økende stammehøyde.

Kroneutvikling og kronens størrelse påvirker også kviststørrelse og virkeskvaliteten. En stor og bred krone øker kvistdiameteren, mens en smal krone gir lavere kvistdiameter. Kronen er også viktig for stammens utvikling. Dersom kronen forblir rett under treets høydeutvikling, vil

stammen oftest bli rett. Dersom et annet skudd tar over høydeutviklingen kan det forkomme gankvist, som reduserer virkeskvaliteten (Duursma, 1998, s. 9).

Gjennom skogbehandling kan man, til en viss grad, påvirke egenskapene til trevirke da alle faktorer som påvirker veksten vil påvirke egenskapene. Ved skogbehandling er det opp til skogeier hva målet med skogbehandlingen er, men ofte handler det om optimal virkesproduksjon og økonomisk avkastning. De mest anvendte skogbehandlingene i dagens skogbruk er foryngelse, ungskogpleie, tynning og sluttavvirkning, i tillegg til gjødsling enkelte steder (NIBIO, u. å.). Tetthet kan bidra med å påvirke egenskapene, hvor høyere tetthet gir bedre styrkeegenskaper da det reduserer kvistdiameter og fører til en saktere vekst som gir smalere årringbredde.

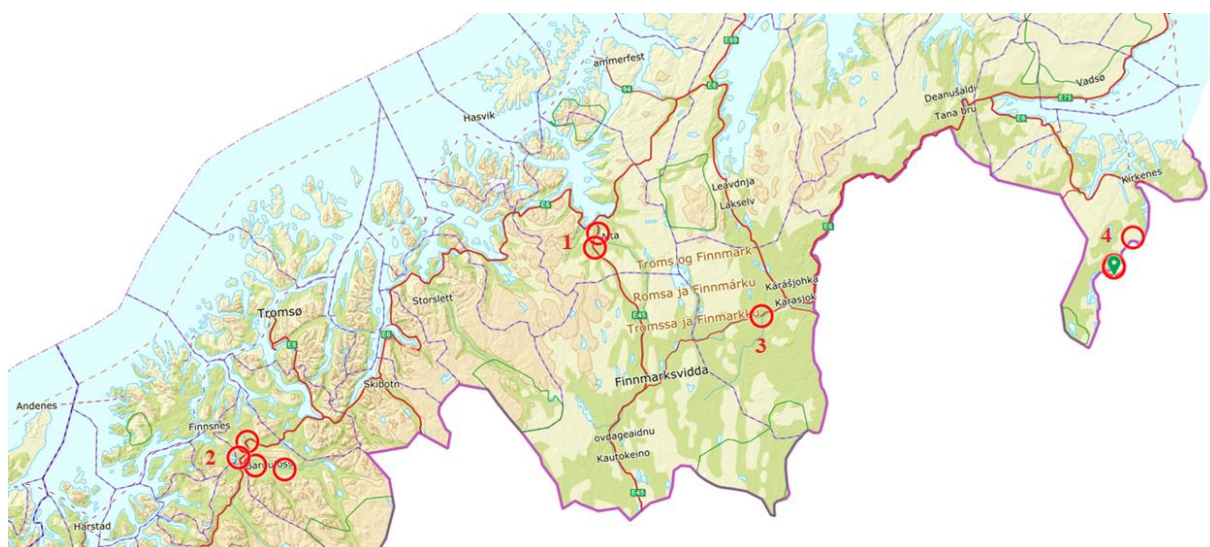
1.1 Mål for studien

Målet med denne studien er å undersøke egenskapene til konstruksjonsvirke av furu fra Troms og Finnmark, og å undersøke hvilke variabler som påvirker egenskapene densitet, E-modul og bøyefasthet gjennom å utvikle modeller som beskriver variasjonen. Modellene blir i diskusjonen knyttet opp mot skogskjøtselstiltak, og hvordan man potensielt kan påvirke egenskapene.

2. Materiale og metoder

2.1 Områdebeskrivelse

Innsamlingen av trevirke foregikk fra 10 bestand i fire ulike områder i Troms og Finnmark fylke. Områdene var Alta (Skillemo & Nallovarrimoen), Bardufoss (Buktamo, Andsvatnet, Grøttemoen & Alapmoen), Karasjon (Miellémohkeguoika) og Pasvik (Kobbfosshøgda, Håkseth og Russeåsen) (Figur 1) (Prosjektbeskrivelse, u. å.). Alle bestandene det ble hentet ut trevirke fra i Finnmark tilhører og forvaltes av Finnmarkseiendommen (FeFo).



Figur 1. Oversiktsbilde over studieområdene i Troms og Finnmark. De røde ringene indikere bestandene trevirket er hentet fra. Nummer 1 viser to bestand i Alta, nummer 2 viser fire bestand i Bardufoss, nummer 3 viser ett bestand i Karasjok og nummer fire viser tre bestand i Pasvik. Kilde: Prosjektbeskrivelse, u. å.

Studieområdet er lokalisert i mellom- og nordboreal vegetasjonssone (Fremstad, 1998, s. 7), og domineres av treslagene furu og bjørk (*Betula pubescens*). Vekstsesonen i studieområdet er kort, og jorda i studieområdet kan generelt sett betegnes som skrinn. I de 10 bestandene ble det registrert jordsmonnstypene blokkmark, elveavsetning, sand og morene. Disse jordsmonnstypene er relativt næringsfattige og gir lave boniteter. Ifølge Andreassen et al. (2012) vokser det aller meste av furuskogen i Troms på bonitet 11 eller lavere. I denne studien var bonitet 14 høyeste registrerte bonitet. Studieområde har lavere gjennomsnittstemperaturer enn resten av landet, er nedbørsfattig og har kort vekstseson. En oversikt over antall trær, lengde- og breddegrad, høyde over havet, gjennomsnittlig årsnedbør og temperatursum for de ulike lokasjonene er satt opp i Tabell 3.

Tabell 3. Oversiktstabell som viser antall trær hentet ut fra hvert bestand, breddegrad, lengdegrad, høyde over havet (m.), gjennomsnittlig årsnedbør (mm.) og temperatursum for hvert bestand.

Bestand	Antall trær (n)	Bredde-grad	Lengde-grad	H.o.h. (m.)	Nedbør (mm)	Tsum (C°)
Alapmoen	12	69,00	19,02	84	246	756
Andsvatnet	12	69,07	18,47	171	246	680
Buktamo	12	69,14	18,58	40	246	785
Grøttemoen	12	69,03	18,67	65	246	771
Håkseth	12	69,34	29,57	70	251	748
Kobbfosshøgda	12	69,33	29,56	90	251	731
Miellemohkeguoika	12	69,43	25,13	151	234	674
Nallovarrimoen	12	69,84	23,17	83	194	707
Russeåsen	12	69,44	29,88	39	251	768
Skillemo	12	69,90	23,23	41	194	738

Temperatursum ble regnet ut basert på lengdegrad og høyde over havet, korrigert for kontinentalt klima, etter Morén & Perttu (1994, s. 5), ved bruk av følgende formel (Formel 1):

Formel 1. Formel for utregning av temperatursum.

$$Tsum = A_0 + A_1 * lat + A_2 * alt$$

2.2 Datainnsamling i felt

Fra hvert av de 10 bestandene ble det valgt ut 12 trær, som gir totalt 120 trær. Hvert tre fikk tildelt et nummer (1 til 120). Utvalget av trær ble gjort ved å klave alle trærne i et område i bestandet. Alle trær med en brysthøydiameter (DBH) over 17 cm. ble deretter delt inn i tre klasser med like mange trær i hver klasse, før det til slutt ble valgt ut fire tilfeldige trær fra hver klasse. Trær med gankvist eller andre synlige skader feil som ikke er tillatt i sagtømmer ble ikke valgt ut. De utvalgte trærne ble klavet rundt hele stammen, og minimums- og maksimumsdiameter (mm.) ble registrert. Alder i brysthøyde ble målt ved bruk av tilvekstbor. Barktykkelsen (mm.) ble registrert, før kronevidde (cm.) ble målt i fire retninger (nord, øst, sør og vest). Kronevidden ble målt ved hjelp av avstandsmåler, hvor målet ble tatt fra spissen av greina inn til stammen. Kronehøyden (cm.) ble også målt. Det ble tatt tre ulike mål på kornehøyde, hvor høyde til nederste levende grein ble målt. Høyde til krone med 180 graders

dekning ble målt, og høyde til krone med 360 graders dekning ble målt. Gjennomsnittet av sistnevnte er brukt i modellene i denne oppgaven (Tabell 4).

Tabell 4. Oversikt over antall planker, gjennomsnittlig alder i brysthøyde, bonitet, gjennomsnittlig diameter i brysthøyde, gjennomsnittlig trehøyde, gjennomsnittlig kronehøyde og gjennomsnittlig årringbredde i brysthøyde for de ulike bestandene.

Bestand	Antall planker (n)	Alder DBH (år)	Bonitet H40	Diam. DBH (cm)	Tre-høyde (m.)	Krone-høyde (cm)	Årring-bredde (mm)
Alapmoen	118	142	11	30,9	142	1472	1
Andsvatnet	51	55	14	21,5	55	1060	1,8
Buktamo	51	68	14	21,8	68	1294	1,4
Grøttemoen	91	139	11	30,3	140	978	0,9
Håkseth	59	123	8	24,4	123	1028	0,9
Kobbfosshøgda	47	105	8	24,2	107	837	1,1
Miellemohkeguoika	51	127	8	22,3	127	1017	0,8
Nallovarrimoen	56	126	8	24,8	126	889	0,9
Russeåsen	49	62	11	21,3	62	816	1,4
Skillemo	71	137	8	28,6	136	1169	1

Etter disse registreringene ble trærne felt, og treets høyde (m.) ble målt ved bruk av målebånd. Deretter ble høyde til nederste grønne gren (cm.) registrert, så ble høyde opp til halv krone (cm.) registrert, før høyde opp til full krone (cm.) ble registrert. Andre variabler som ble registrert fra hvert bestand var: bonitet, vegetasjonstype, jordsmonnsstype, lengdegrad, breddegrad, grunnflatesum, høyde over havet (m.), og gjennomsnittshøyde i bestandet (m.). Lengde- og breddegrad ble registrert ved bruk av håndholdt GPS.

Trærne ble så kappet til stokker med tre ulike lengder, ut ifra toppdiameteren. Dersom toppdiameteren var under 20 cm. ble stokken kappet til 3 meter. Stokker med toppdiameter mellom 20 og 30 cm. ble kappet til 3,6 meters stokker og stokker med toppdiameter over 30 cm. ble kappet til 4,2 meters stokker. Bakgrunnen for å kappe stökkene i disse lengdene var krav til lengden på planker som skal testes i henhold til EN408 (Standard Norge, 2012). Stökkene ble merket med trenummer og et eget stokknummer. Til tross for at det ble valgt ut et likt antall trær fra hvert bestand ble det ikke et likt antall stokker og planker fra bestandene. Antall stokker og planker fra hvert bestand var avhengig av trehøyde og DBH.

Videre ble stokkene fraktet til et sagbruk og sagd til planker. Plankene ble skåret til tre ulike dimensjoner for testing: 50x100 mm., 50x150 mm. og 50x200 mm. (Tabell 5). Stokker med toppdiameter under 20 cm ble skåret til 50x100 mm, stokker med toppdiameter mellom 20 og 30 cm ble skåret til 50x150 mm og stokker med toppdiameter over 30 cm ble skåret til 50x200 mm. Det var noen avvik fra dette ved at 24 margplanker fra stokker med toppdiameter mellom 20 og 30 cm ble skåret til 50x200. Plankene ble deretter merket med trenummer, for å kunne identifisere hvilket bestand og hvilket tre de kom fra. De ble også merket med stokknummer for å vite hvor i treet plankene ble tatt ut, og hver planke ble igjen merket med et unikt plankenummer for å kunne identifisere hvor i treet planken ble hentet ut fra. Plankene ble tørket til 12% fuktighet hos Moelven Løten AS, for så å bli fraktet til Norges- miljø og biovitenskapelige universitet for videre testing på Lab.

Tabell 5. Oversikt over antall trær og antall stokker fra de ulike bestandene, og fordeling planker i de tre dimensjonsklassene.

Bestand	Antall trær	Antall stokker	Antall 50x100 mm	Antall 50x150 mm	Antall 50x200 mm
Alapmoen	12	44	22	78	17
Andsvatnet	12	26	39	13	-
Buktamo	12	28	37	15	-
Grøttemoen	12	37	28	63	3
Håkseth	12	32	31	28	-
Kobbfosshøgda	12	24	22	25	-
Miellemohkeguoika	12	24	33	16	-
Nallovarrimoen	12	26	30	16	10
Russeåsen	12	27	40	11	-
Skillemo	12	33	22	33	16

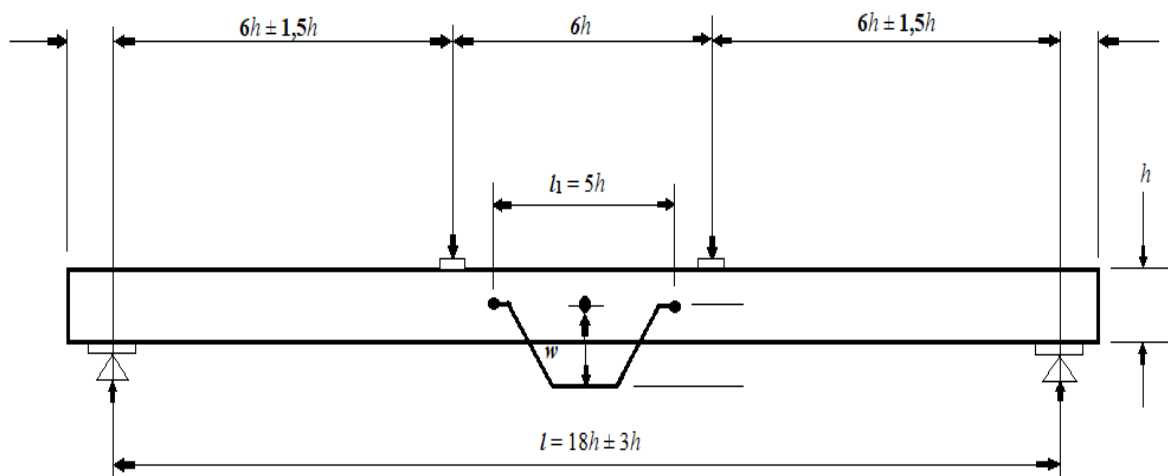
2.3 Datainnsamling på Lab

Testing på Lab ble gjort i henhold til Norsk Standard EN 408:2010+A (KILDE). Ved testing ble den dårligste delen av planken tatt ut, og trelast med dimensjon 50x100 mm ble kortet inn til 2000 mm, trelast med dimensjon 50x150 mm ble kortet inn til 3000 mm og trelast med dimensjon 50x200 mm ble kortet inn til 4000 mm. De fleste plankene tatt ut fra toppenden av stokken ettersom kvistdiameteren øker oppover i stammen, men var noen unntak hvor man fant større feil nærmere rotenden, og de ble kortet inn noe fra rotenden og noe fra toppenden.

Plankene ble klimatisert på treteknisk laboratorium på NMBU, og hadde en fuktighet på ca. 12% ved testing. Hver planke ble veid, målt og testet.

Variablene som ble registrerte ved testing på Lab var: trenummer, stokknummer og plankenummer. Om planken var yte-plank (uten marg) eller marg-plank (synlig marg i planken). Plankens lengde, høyde og bredde ble registrert. Høyden og bredden ble målt med skyvelære midt i plankens lengde, høyden ble målt på hver side og bredde ble målt øverst og nederst i planketverrsnittet. Deretter ble den største kvistdiameteren på ytesiden målt, innenfor et område som dekket hele lengde mellom belastningspunktene og halve lengden mellom belastningspunkt og opplagringspunkt på hver side (Figur 2). I tillegg ble den største kvisten på kantsiden registrert. Planken ble så veid, og resonansfrekvens (Hz) ble målt ved bruk av Brookhuis MTG 960. Eventuelle andre feil, som tennar, gankvist og vridning, ble også registrert.

To spikre ble så festet på hver side av planken for å kunne feste deformasjonsmåleren (Heidenhain MT 1287). En mindre spiker ble festet midt mellom de to andre for at nålen på deformasjonsmåleren kunne registrere nedbøyningen. Testingen ble gjort i henhold til NS EN408 (Standard Norge 2012), og testoppsettet er vist i Figur 2. Opplagringspunktene hadde en avstand på 18 ganger nominell høyde, bortsett fra for de 24 plankene med dimensjon 50x200 mm som var for korte til det. For disse var avstanden mellom opplagringspunktene 3300 mm. Belastningspunktene hadde en avstand på 6 ganger nominell høyde, hvor deformasjonsmåleren ble festet innenfor belastningspunktene med en avstand på 5 ganger høyden. Det ble målt lokal deformasjon over området med lengde 5 ganger nominell høyde, definert som l_1 i Figur 2, mellom belastningspunktene.



Figur 2. Illustrasjonsbilde av hvordan plankene ble testet, i henhold til NS EN408.

Planken ble deretter plassert i en firepunkts hydraulisk testmaskin (Instron 5800) for å måle E-modul og bøyefasthet. Alle plankene ble plassert med samme orientering i maskinen, med topp- og ytesiden i samme retning. Dette ble gjort for å utjevne eventuelle kvalitetsforskjeller mellom sidene på stokkene. Programmet LabVIEW ble brukt til å styre lastpåføringen og registrere last og deformasjon som var nødvendig for å beregne E-modul og bøyefasthet. Innstillinger for E-modul varierte med dimensjoner. Lasten skulle tilsvare 10 – 40% av antatt nedre bruddlast ved måling av E-modul og det skulle ta ca. 30 sekunder å påføre last for alle planker. Oversikts over avstander, lastgrenser og hastighet for lastpåføring er oppført i Tabell 6. Ved testing av E-modul ble lasten påført i tre sykluser, og det ble tatt ut data fra de to siste. Labview-programmet gjorde regresjonsanalyser mellom lokal deformasjon og belastning, og estimerte $(F_2 - F_1)/(w_2 - w_1)$ som stigningstallet til kurva. Verdien som ble brukt er gjennomsnittet fra de to siste syklusene. Etter at E-modulen var testet ble utstyret for måling av lokal deformasjon fjernet før trelasten ble testet til brudd.

Tabell 6. Belastning og hastighet til lastpåføring under testing for E-modul og bøyefasthet, fordelt på de ulike dimensjonene.

Dimensjon	E-modul				Bøyefasthet	
	Nedre	Nedre	Øvre	Øvre	Hastighet	Hastighet
	lastgrense	målegrense	målegrense	lastgrense	(mm/min)	(mm/min)
	(N)	(N)	(N)	(N)		
50 x 100	450	500	1500	1550	5	10
50 x 150	700	750	2500	2550	10	15

50 x 200	600	1000	3300	3600	15	20
50 x 200*	660	1100	3600	3900	15	20

* 50 x 200 testet med 3300 mm mellom opplagringspunkt.

Etter målingene ble E-modul regnet ut ved bruk av følgende formel fra EN408 (Standard Norge, 2012, s. 10), hvor l_1 = avstand som lokal nedbøying måles over, I = annet arealmoment ($=\frac{b \cdot h^3}{12}$ for rektangulære tverrsnitt, hvor b er bredden og h er høyden til planken), a = avstand fra opplagringspunkt til belastningspunkt, F = last og w = lokal nedbøying (Formel 2):

Formel 2. Formel for utregning av E-modul.

$$E_{m,l} = \frac{al_1^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)}$$

Bøyefasthet ble så regnet ut ved bruk av følgende formel fra EN408 (Standard Norge, 2012, s. 33), hvor F = last og a = avstand fra opplagringspunkt til belastningspunkt (Formel 3):

Formel 3. Formel for utregning av bøyefasthet.

$$f_m = \frac{3Fa}{bh^2}$$

Sannsynligheten er høyere for å finne feil i planker med større dimensjoner enn i planker med små dimensjoner. For å få et likt utgangspunkt ble dermed bøyefastheten til alle planker med 100 mm. dimensjonskorrigert, for å kunne sammenlignes med de større dimensjonene, ved bruk av følgende formel fra EN384 (Standard Norge, 2019, s. 9) hvor h = høyde på planken (Formel 4):

Formel 4. Formel for dimensjonskorrigering for bøyefasthet for planker mindre enn 100mm. dimensjon.

$$k_h = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \\ 1,3 \end{array} \right.$$

I Tabell 6 vises det at noen planker med 50x200 mm. dimensjon ble testet med 3300 mm. mellom opplagringspunktene. Disse plankene ble kappet for korte på sagbruket, men var fortsatt innenfor standarden EN408 (Standard Norge, 2012). For å justere for litt for korte dimensjoner ble følgende formler fra EN384 (Standard Norge, 2019, s. 10) brukt til å korrigere

bøyefastheten, hvor h = høyde på planken, l = testlengde (avstand mellom opplagringspunkt) og a_f = avstand mellom belastningspunkt (Formel 5):

Formel 5. Formel for dimensjonskorrigering av bøyefasthet.

$$k_l = \left(\frac{48h}{l_{et}} \right)^{0,2}$$

hvor

$$l_{et} = l + 5a_f$$

Ved bruk av kappsag ble en liten bit av hele tverrsnittet av planken kappet for å finne densitet. Biten ble tatt ut så nærme bruddet som mulig, men utenfor der hvor det var spekker. Biten ble først veid før volum ble funnet med oppdriftsmetoden. Biten ble da senket i et vannbad ved bruk av syl, og oppdrift er lik massen til det fortrenkte vannet. Vekten ble registrert, for å senere kunne regne ut densiteten. Ved uthenting av prøven var det viktig å kappe så nært bruddet som mulig, og veie biten hurtig etter kapping. Dette måtte gjøres hurtig for å unngå at fuktigheten og vekten i prøven endres før veiing. Densitet ble deretter regnet ut ved bruk av formelen (Formel 6):

Formel 6. Formel for utregning av densitet.

$$\frac{\text{Vekt (g)}}{\text{Volum (cm}^3\text{)}}$$

Densiteten ble deretter fuktkorrigert til 12% ved bruk av følgende formel fra NS-EN 384 (Formel 7):

Formel 7. Formel for fuktkorrigering av densitet.

$$\text{Densitet prøving} * (1 - 0,005 * (U(\%) - 12)) * 1000$$

E-modul ble også fuktkorrigert til 12% ved bruk av følgende formel fra NS-EN 384 (Formel 8):

Formel 8. Formel for fuktkorrigering av E-modul.

$$* (1 + 0,01 * (U(\%) - 12))$$

Plankene hadde en fuktighet mellom 7 – 15% ved testing. For å finne korrekt fuktighet ved testing ble følgende formel brukt (Formel 9):

Formel 9. Formel for utregning av fuktighet i plankene ved testing

$$\left(\frac{(Vekt\ densitetsprøve\ (g) - Tørrvekt\ (g))}{Tørrvekt\ (g)} \right) * 100$$

Utregning av forklaringsvariabler basert på bestands- og tre- og stokkdata er forklart videre. DBH for hver tre ble målt i felt, med registrering av maksimums- og minimums diameter. I denne studien er det brukt relativ DBH som en variabel, i tillegg til gjennomsnittlig DBH for hvert bestand. Relativ DBH sier noe om treets status i bestandet, altså om det er herskende, medherskende eller undertrykket. Relativ DBH uttrykkes som et tall, hvor 1 er verdien for gjennomsnittstreet i bestandet. En verdi under 1 betyr at treet er undertrykket mens en verdi over 1 betyr at treet er herskende. Relativ DBH ble funnet ved å først regne ut gjennomsnittlig DBH for hvert tre, for så å regne ut gjennomsnittlig DBH for hvert bestand. Deretter ble relativ DBH regnet ut ved å dele gjennomsnittlig DBH for hver tre på gjennomsnittlig DBH for bestandet treet tilhørte.

Høyde til midt i testet plank er definert som avstand fra midtpunktet i planken og ned til stubbeavskjær. Posisjonen i treet ble funnet ved å finne plankens midtpunkt i forhold til stokkens toppende og trekke det fra avstanden mellom stokkens toppende til rotavskjær. Relativ høyde ble så regnet ut ved å dividere høyde til midt i testet plank på treets totalhøyde.

Alder ble etter registrering beregnet ved å telle årringer, ved bruk av ImageJ i kombinasjon med ObjectJ. For å finne gjennomsnittlig årringbredde ble antall år i brysthøyde dividert på avstanden (mm.) fra ytterste årring til marg (Prosjektbeskrivelse, u. å.).

2.4 Databehandling og modellering

Variasjon i densitet, E-modul og bøyefasthet ble modellert ved bruk av lineære miksedde modeller, ved bruk av «Fit Model» i JMP Pro 15 (JMP®, Version 15.). Den samme modellen ble brukt for å undersøke sammenhengen mellom E-modul, densitet og kvist, i tillegg til sammenhengen mellom bøyefasthet, densitet og kvist. Det ble valgt en mikset modell med bestand og trenummer som tilfeldige effekter siden man kunne forvente at det var avhengighet

mellom observasjoner. Grunnen til at det kunne oppstå avhengighet i disse variablene var at det ble hentet ut flere trær fra samme bestand, og det var flere planker fra samme trær. Bestand og trenummer ble tatt med som tilfeldige forklaringsvariabler i alle analysene, hvor trenummer var «nest» etter bestand. En oversikt over alle variablene og hvilket nivå de tilhører er satt opp i Tabell 7 (definisjoner av variablene finnes i Tabell 1). Modellen er presentert som formel 10. Forutsetningen for å utføre en slik analyse er at både residualene og de tilfeldige effektene er normalfordelt med et gjennomsnitt lik null, mens variansene kan variere. Residualvariansen representerer varians mellom planker innad i trærne.

Modellen som ble anvendt i denne oppgaven var (Formel 10):

Formel 10. Modell anvendt i denne oppgaven.

$$Y = \mu + f(A, B, \dots) + B_i + T_j(B_j) + e_k$$

hvor

$$B_i \sim N(0, \sigma_B^2)$$

$$T_j \sim N(0, \sigma_T^2)$$

$$e_k \sim N(0, \sigma_e^2)$$

Først ble det gjort varianskomponentanalyser av variablene (densitet, E-modul og bøyefasthet), hvor variansen ble delt i varians mellom bestand, mellom trær innenfor bestand og mellom planker fra hvert tre. For modellene ρ_1 , og ρ_4 (Tabell 10) ble bestandsvariabler (ALT, Tsum og SI) lagt inn i modellen først, deretter ble trevariabler (Age, $\bar{A}B_{gi.snitt}$, $DBH_{gi.snitt}$, DBH_{rel} og H360) lagt inn, før stokkvariablene (RH og H) ble lagt inn til slutt. Variablene som ikke viste en signifikant sammenheng (kritisk p-verdi = 0,05) ble tilbakeselektert. Etter hver tilbakeselektering ble modellen kjørt på nytt for å undersøke hvilke effekter det hadde på de resterende variablene. Etter å ha kjørt modellen med alle variablene ble det undersøkt om noen av variablene som ble tilbakeselektert kunne være signifikante i sluttmodellen. Den samme fremgangsmåten ble forsøkt for modell ρ_2 , men etter å ha lagt inn bestandsvariablene ble varianskomponenten negativ. Dermed ble bestand fjernet som tilfeldig effekt når bestandsvariablene ble lagt inn. For hver gang nye variabler ble lagt inn i modellen ble det undersøkt om bestandvariansen var negativ. Dette ble gjort frem til bestand ikke lengre ga negativt utslag på varianskomponenten.

For modellene ρ_3 og ρ_5 (Tabell 10) ble alle forklaringsvariablene (KF, KE, KC og Dens) lagt inn samtidig, og eventuelle ikke-signifikante variabler ble tilbakeselektert. I alle modellene som hadde densitet som variabel ble en observasjon fjernet fra modellene ($n = 643$), da denne viste usannsynlig høy densitet. Observasjonen av E-modul og bøyefasthet til den samme planken ble tatt med i alle analyser hvor densitet ikke var med som forklaringsvariabel. Resultatene fra modellene er illustrert i figurer, hvor Figur 3, Figur 5 til og med Figur 10 og Figur 12 er laget ved bruk av JMP, mens Figur 4, Figur 11, Figur 13 og Figur 14 er laget ved bruk av Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2016).

Tabell 7. Oversikt over variablene på ulike nivåer brukt i modellene, med forkortelse og måleenhet.

Variabler	Forkortelse	Måleenhet
Forklaringsvariabler for alle analyser		
Bestand (tilfeldig effekt)		
Tre og stokkdata («nest» etter bestand, tilfeldig effekt)		
Bestandsnivå		
Bonitet	SI	H40
Temperatursum	Tsum	
Høyde over havet	Alt	m.
Trenivå		
Årringbredde	$\text{\AA}B_{\text{gj.snitt}}$	mm.
Alder	Age	år
Gjennomsnittlig DBH	$\text{DBH}_{\text{gj.snitt}}$	cm.
Relativ DBH	DBH_{rel}	
Kronehøyde	H360	cm.
Stokknivå		
Høyde til midt i testet plank	H	cm.
Relativ høyde	RH	cm.
Plankenivå		
Densitet	Dens	kg/mm^3
Elastisitetsmodul	MOE	kN/mm^2
Bøyefasthet	MOR	N/mm^2
Kvist		
Kviststørrelse, flatside	KF	mm.

Kviststørrelse, kantside	KE	mm.
Største samling av kvist, flatside	KC	mm.

En korrelasjonsmatrise for alle variablene som ble modellert er satt opp i Tabell 8. Det er tatt utgangspunkt i gjennomsnittverdiene for variablene på trenivå.

Tabell 8. Korrelasjonsmatrise beregnet ut ifra gjennomsnittsverdiene for de ulike variablene på trenivå.

	Alt	Tsum	SI	DBH_{gj.snitt}	DBH_{rel}	Age	ÅB_{gj.snitt}	H360	H	RH
Alt	1,0000	-0,8728	0,0781	-0,1966	-0,0000	-0,0980	0,1343	-0,0592	-0,2205	-0,2449
Tsum		1,0000	0,2638	0,2188	0,0000	-0,0133	0,0223	0,2137	0,3357	0,2236
SI			1,0000	-0,1513	-0,0000	-0,6034	0,7019	0,3445	0,0165	-0,2805
DBH_{gj.snitt}				1,0000	0,7268	0,5377	-0,0730	0,2489	0,5914	0,3617
DBH_{rel}					1,0000	0,0750	0,3259	-0,0039	0,2643	0,1313
Age						1,0000	-0,7992	0,1704	0,3241	0,3255
ÅB_{gj.snitt}							1,0000	-0,0275	-0,0835	-0,2483
H360								1,0000	0,4267	0,0318
H									1,0000	0,8157
RH										1,0000

3. Resultater

Gjennomsnittsverdien for Dens var 448 kg/mm³, for MOE var gjennomsnittsverdien 10,27 kN/mm² og for MOR var gjennomsnittsverdien 40,17 N/mm². Varianskoeffisienten var lavest for Dens, etterfulgt av MOE og høyest for MOR, med henholdsvis 9,04%, 19,19% og 31,35%. Den laveste observasjonen for Dens var på 270,04 kg/mm³, den høyeste var på 617,15 kg/mm³. For MOE var den laveste observasjonen på 4,86 kN/mm², og den høyeste var på 17 kN/mm². Den laveste observasjonen for MOR var på 9,89 N/mm², og den høyeste var på 79,51 N/mm². En oversikt over gjennomsnittsverdier og standardavvik for de tre egenskapene fordelt på bonitet, samt gjennomsnitt og standardavvik for totalen av hver egenskap er vist i Tabell 9.

Tabell 9. Antall planker (N), gjennomsnittsverdi (Dens: kg/mm³, MOE: kN/mm² og MOR: N/mm²) og standardavvik (SD) fordelt på bonitet.

Bonitet	Antall (n)	Dens (kg/m ³)		MOE (kN/mm ²)		MOR (N/mm ²)	
		Gj.snitt	SD	Gj.snitt	SD	Gj.snitt	SD
8	284	456	37,69	10,69	1,90	42,48	12,46
11	258	451	44,39	10,30	2,00	40,34	12,61
14	102	420	21,86	9,02	1,53	33,27	10,33
Alle	644	448	39	10,27	1,97	40,17	12,60

En oversikt over modellene, med R², RMSE, og varianskomponenter på bestands- tre og stokknivå er presentert i Tabell 10.

Tabell 10. Oversikt over modeller for Dens, MOE og MOR med verdier for R² og RMSE. σ_b viser varianskomponentene for modellene på bestandsnivå, σ_t viser varianskomponentene for variabler på trenivå og σ_r viser varianskomponentene for residualen.

Y	Model	Faste effekter	R ²	RMSE	σ_b	σ_t	σ_r
Dens	Dens	Uten variabler			263	490	892
	ρ_1	Skoglige variabler	0,29	32,80	160	496	474
MOE	E-modul	Uten variabler			0,55	1,28	2,24
	ρ_2	Skoglige variabler	0,48	1,43	0,01	1,11	1,01
	ρ_3	Kvist og densitet	0,63	1,20	0,06	0,56	0,87
MOR	Bøyefasthet	Uten variabler			16,81	23,81	123,54
	ρ_4	Skoglige variabler	0,44	9,44	3,50	15,13	72,94
	ρ_5	Kvist og densitet	0,58	8,16	2,92	7,09	57,62

Modellene fra Tabell 10 er skrevet ut i Tabell 11.

Tabell 11. Oversikt over modellene fra Tabell 10.

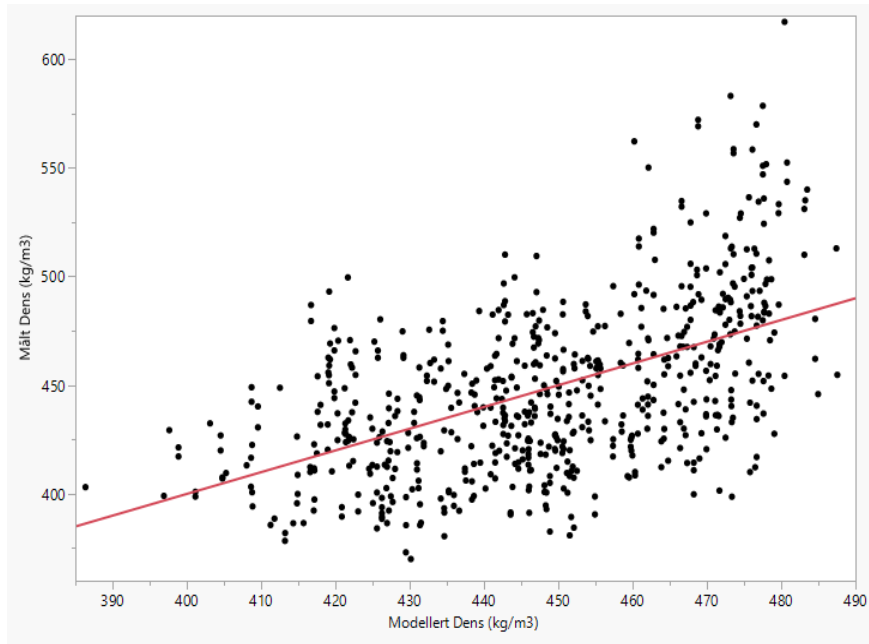
Modell	Faste effekter
ρ1	$= 520 - 35,55 * \hat{A}B_{gj.snitt} - 1,10 * H_{rel}$
ρ2	$= 7,61 + 0,07 * Tsum - 0,36 * SI - 3,80 * DBH_{rel} - 0,06 * H_{rel}$
ρ3	$= 1,42 + 0,02 * Dens - 0,04 * KF - 0,05 * KE$
ρ4	$= 38,81 + 0,08 * Tsum - 1,96 * SI - 25,75 * DBH_{rel} - 0,41 * RH$
ρ5	$= 24,37 + 0,08 * Dens - 0,27 * KF - 0,48 * KE - 0,08 * KC$

3.1 Densitet

Ved modellering av Dens var det en annen modell som hadde lavere varianskomponent, og dermed forklarte mer av variasjonen, som inneholdt variablene Age, DBH_{rel} , H360 og RH. Etter å ha utført en AIC (Akaike-informasjonskriteriet), var verdien lavere for modellen som inneholdt RH og $\hat{A}B_{gj.snitt}$. Dermed ble denne valgt som sluttmodell for Dens.

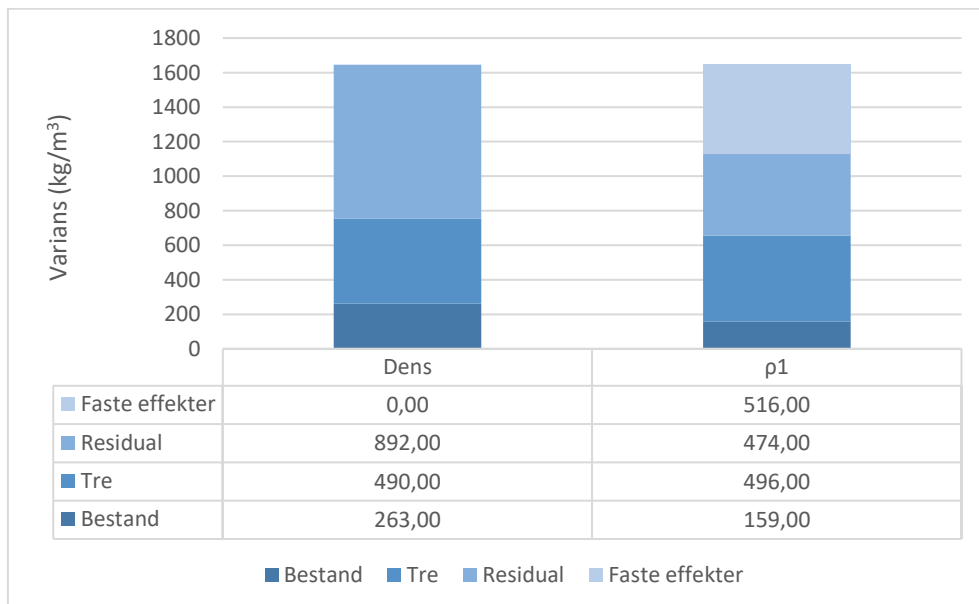
Varianskomponentanalysen av densitet før de faste variabler ble lagt inn i modellen viste at 15,99% av variasjonen ble forklart på bestandsnivå, 29,79% på trenivå og at residualen forklarte 54,22%.

Variablene som hadde signifikant effekt på densitet (Dens) var RH ($F = 398,02$, $p = < 0,0001$) og $\hat{A}B_{gj.snitt}$ ($F = 12,49$, $p = 0,0010$). Alle variablene hadde negativ effekt og inngår som faste effekter i modell ρ1 (Tabell 9 og 10). Figur 3 viser registrerte verdier mot verdier predikert med de faste effektene i modellen.



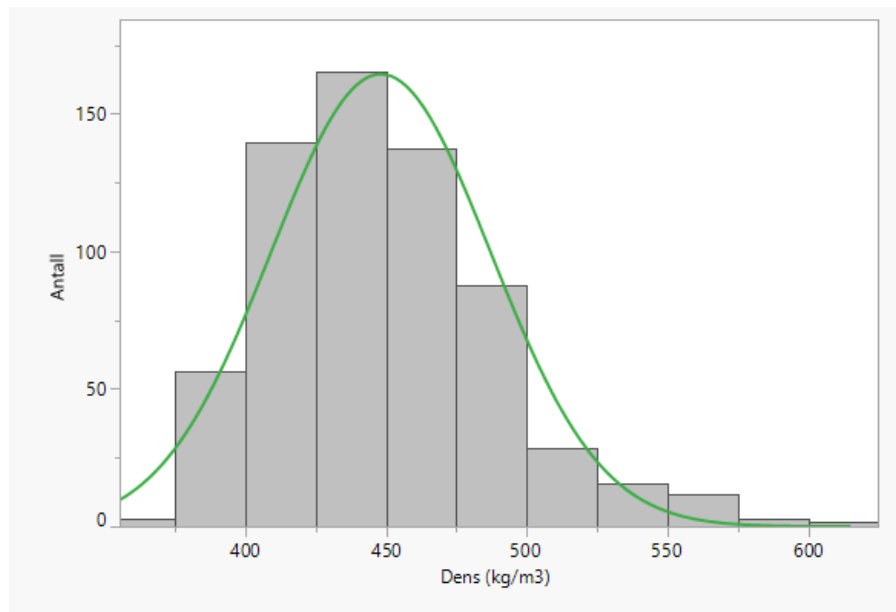
Figur 3. Sammenheng mellom modellert Dens og målt Dens. Regresjonslinje tvunget gjennom null, med stigningstall 1.

Reduksjonen av varianskomponentene viser hvor mye de faste effektene i modellen forklarte. Modellen reduserte variansen på bestandsnivå med 39,5%, og residualvariansen med 46,9%. Variansen mellom trær innenfor bestand økte med 1,2%. Totalt forklarte de faste effektene i modellen 31,4% av variasjonen for densitet (Figur 4).



Figur 4. Varianskomponentanalyse for densitet.

En foredling av observasjoner for Dens er vist i Figur 5. Observasjonene var skjevfordelt mot venstre. Kurven i figuren viser tilpasset normalfordeling.

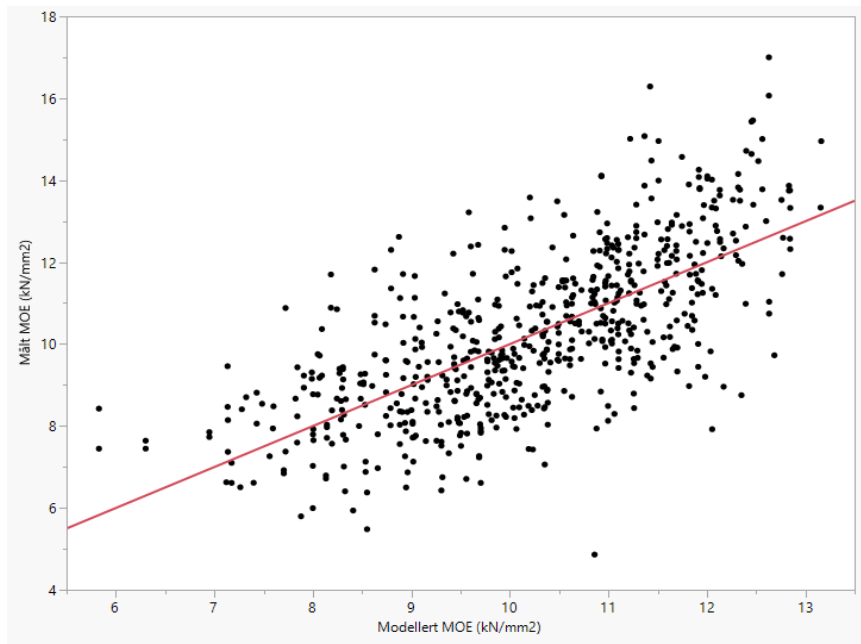


Figur 5. Fordeling av observasjoner for Dens med normalfordelingskurve.

3.2 MOE

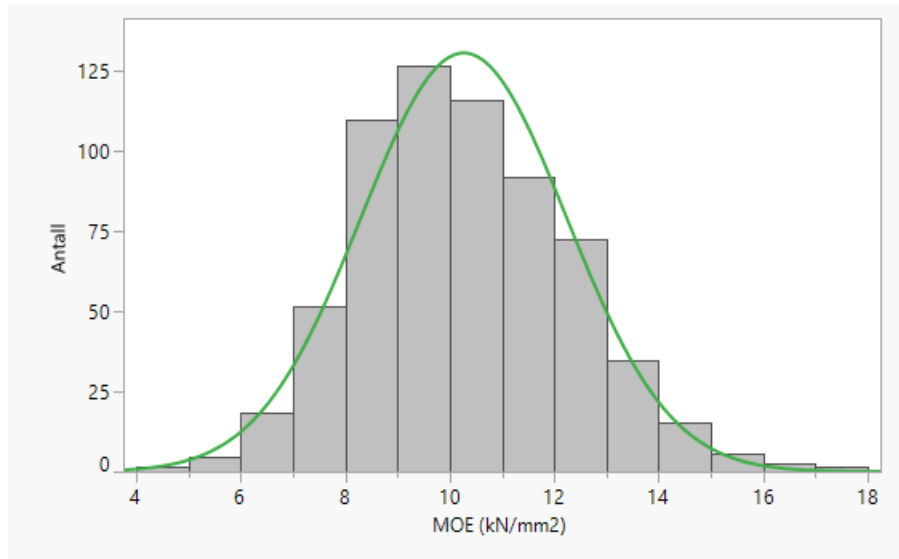
Varianskomponentanalysen av MOE viste 13,43% varians mellom bestand, 31,39% mellom trær innenfor bestand og 55,18 % mellom planker innad i trær.

I MOE-modellen (ρ^2) var det signifikant negative effekter av RH ($F = 641,94$, $p = < 0,0001$), DBH_{rel} ($F = 28,75$, $p = < 0,0001$) og SI ($F = 52,62$, $p = 0,0001$), og signifikant positiv effekt av Tsum ($F = 25,57$, $p = 0,0012$). Figur 6 viser registrerte verdier mot verdier predikert med de faste effektene i modellen.



Figur 6. Sammenheng mellom modellert MOE og målt MOE. Regresjonslinje tvunget gjennom null, med stigningstall 1.

Fordelingen av observasjoner for MOE var tilnærmet normalfordelt, med en liten overvekt av fordelingen mot venstre (Figur 7).

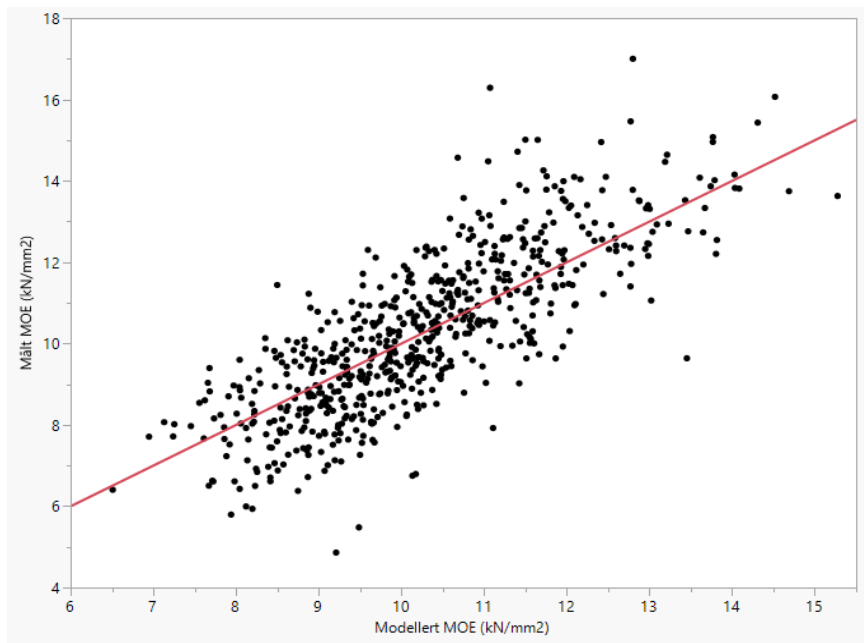


Figur 7. Fordeling av observasjoner for MOE med normalfordelingskurve.

3.3 MOE, densitet og kvist

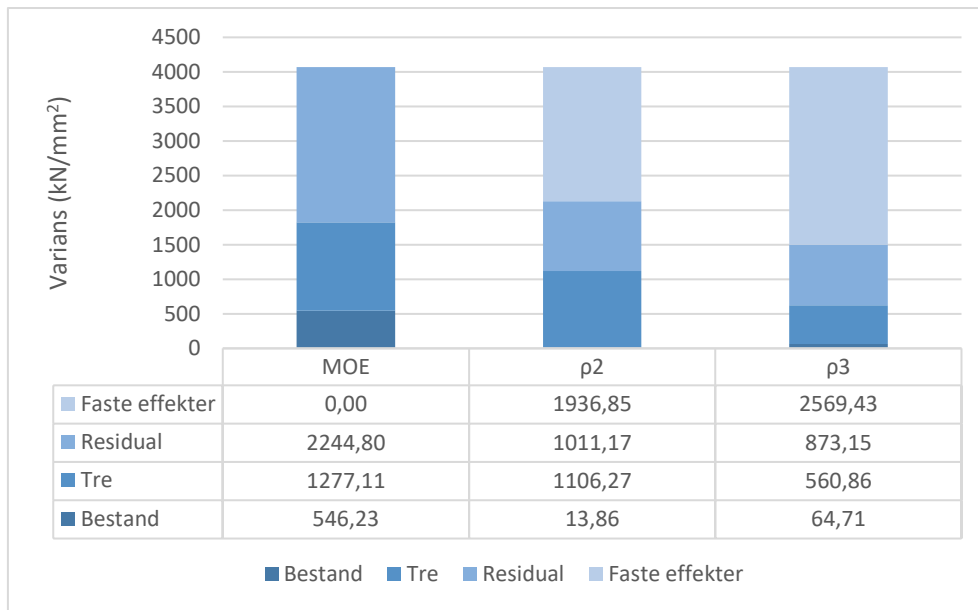
I MOE-modellen (ρ_3), som var basert på densitet og kvist som faste effekter, inngikk signifikant negative effekter av KE ($F = 113,34$, $p = < 0,0001$) og KF ($F = 44,30$, $p = < 0,0001$), og en

signifikant positiv effekt av Dens ($F = 261,03$, $p = < 0,0001$). Figur 8 viser registrerte verdier mot verdier predikert med de faste effektene i modellen.



Figur 8. Sammenheng mellom modellert MOE og målt MOE. Regresjonslinje tvunget gjennom null, med stigningstall 1.

Modell ρ_2 reduserte variansen på bestandsnivå med 97%, residualvariansen med 55% og variansen mellom trær innenfor bestand med 13,4%. Totalt forklarte de faste effektene i modell ρ_2 47,6% av variasjonene for MOE. Modell ρ_3 reduserte variansen på bestandsnivå med 88,1%, residualvariansen med 61,1% og variansen mellom trær innenfor bestand med 56%. Totalt forklarte de faste effektene i modell ρ_3 63,2% av variasjonen for MOE (Figur 9).

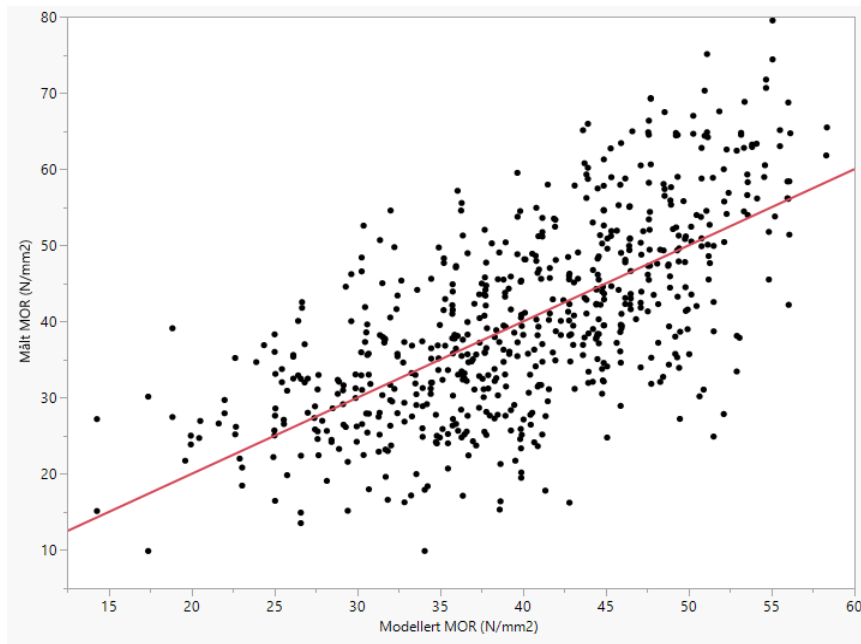


Figur 9. Varianskomponentanalyse for MOE.

3.4 MOR

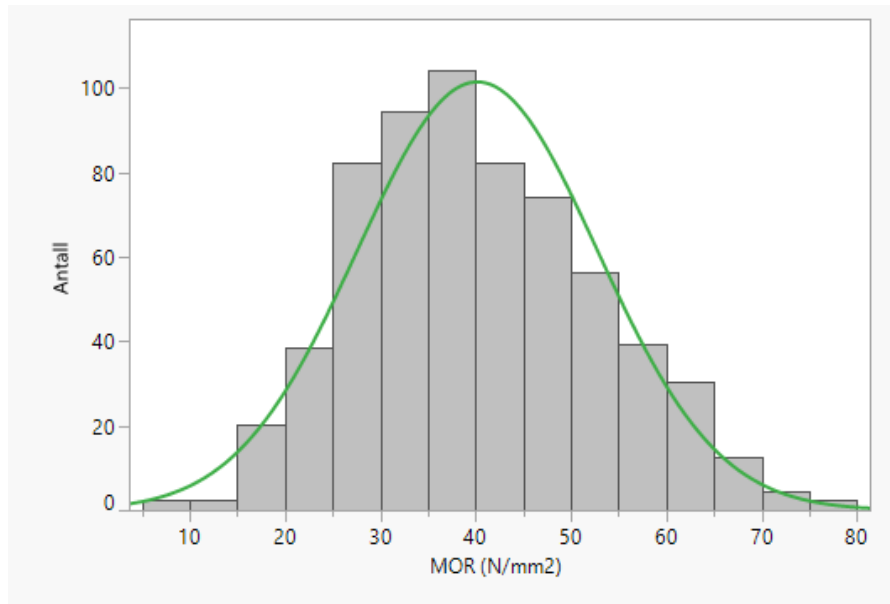
Varianskomponentanalysen av MOR viste 10,06% varians mellom bestand, 14,24% varians mellom trær innenfor bestand og 75,70% varians mellom planker innad i trær.

I MOR-modellen (ρ_4) var det signifikant negative effekter av RH ($F = 366,85$, $p = < 0,0001$), DBH_{rel} ($F = 57,87$, $p = < 0,0001$) og SI ($F = 31,79$, $p = 0,0006$), og signifikant positiv effekt av Tsum ($F = 12,70$, $p = 0,0081$). Figur 10 viser registrerte verdier mot verdier predikert med de faste effektene i modellen.



Figur 10. Sammenheng mellom modellert MOR og målt MOR. Regresjonslinje tvunget gjennom null, med stigningstall 1.

Fordelingen av observasjoner for MOR var tilnærmet normalfordelt, men også her var det en liten overvekt av fordelinger mot venstre (Figur 11).



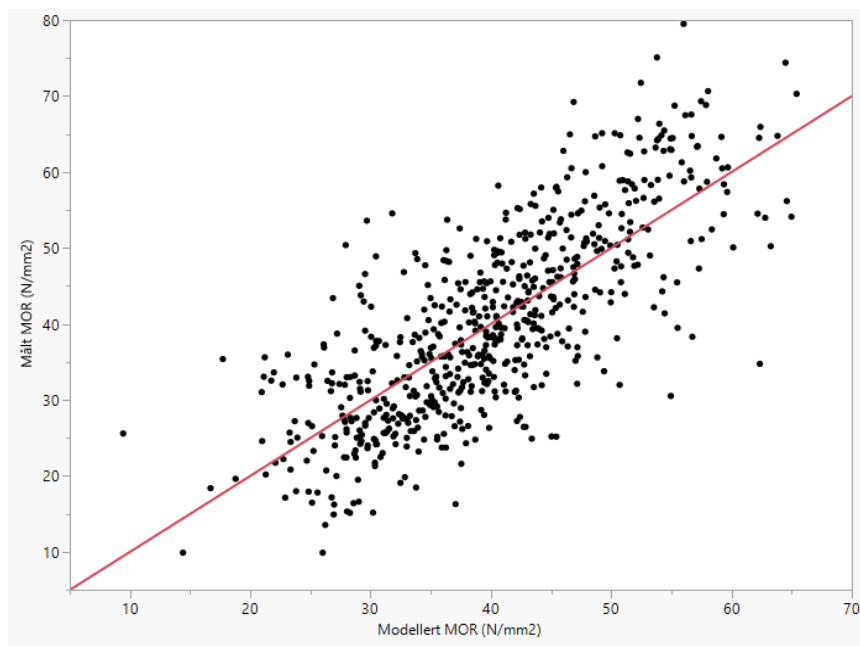
Figur 11. Fordeling av observasjoner for MOR med normalfordelingskurve.

Ettersom årringbredde, noe uforventet, ikke inngikk i modellene for MOE og MOR, undersøkte jeg ved bruk av lineær mikset modell hvilke variabler som påvirket årringbredden. Her viste relativ DBH (F, 957, $p < 0,0001$), alder (F, 380, $p < 0,0001$) og bonitet (F, 20, $p < 0,0001$)

signifikant sammenheng med årringbredde. Bonitet og relativ DBH hadde en positiv korrelasjon med årringbredde, hvor årringbredden økte med økende bonitet og relativ DBH. Alder hadde derimot en negativ korrelasjon med årringbredden, hvor den sank med økende alder. Relativ DBH var den variabelene som hadde størst effekt på årringbredde, etterfulgt av alder. Bonitet hadde minst effekt på årringbredden av de tre variabelene.

3.5 MOR, densitet og kvist

MOR-modellen (ρ_5), som var basert på densitet og kvist som faste effekter, inneholdt signifikant negative effekter av KE ($F = 116,42$, $p = < 0,0001$), KF ($F = 26,40$, $p = < 0,0001$) og KC ($F = 6,49$, $p = 0,0111$), og en signifikant positiv effekt av Dens ($F = 82,37$, $p = < 0,0001$). Figur 12 viser registrerte verdier mot verdier predikert med de faste effektene i modellen.

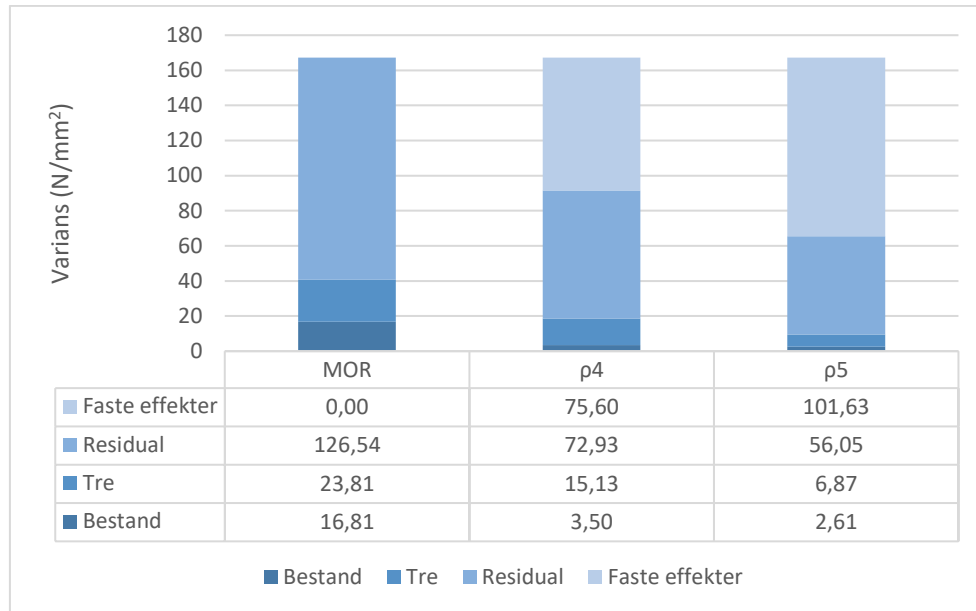


Figur 12. Sammenheng mellom modellert MOR og målt MOR. Regresjonslinje tvunget gjennom null, med stigningstall 1.

Til sammenligning, forklarte modell ρ_3 , som er basert på densitet og kvistdata som faste effekter, 88,1%, av variansen mellom bestand, med 56,1% av variansen mellom trær innen bestand og 61,1% av variansen mellom planker innad i trær. Totalt forklarte de faste effektene i modell ρ_3 63% av variansen i MOE. (Figur 9).

Modell ρ_4 reduserte variansen på bestandsnivå med 79,2%, residualvariansen med 42,4% og variansen mellom trær innenfor bestand med 36,5%. Totalt forklarte de faste effektene i modell

ρ_4 45,3% av variasjonen for MOR. Modell ρ_5 reduserte variansen på bestandsnivå med 84,5%, residualvariansen med 43,4% og variansen mellom trær innenfor bestand med 71,1%. Totalt forklarte de faste effektene i modell ρ_5 60,9% av variasjonen for MOR (Figur 13).



Figur 13. Varianskomponentanalyse for MOR.

4. Diskusjon

Ved utvelgelsen av bestand og trær ble det lagt vekt på å få et representativt utvalg, allikevel var det relativt liten variasjon i enkelte variabler i datasettet. Dette kan skyldes at alle bestandene var lokalisert i samme vegetasjonssone hvor det er liten variasjon i vekstforholdene. I Nordland og Troms er 67 % av det produktive skogarealet på lav bonitet, ca. 30 % på middels bonitet og kun noen få prosent på god bonitet. I Finnmark er 96 % av det produktive skogarealet på lav bonitet, og de resterende 4 % er på middels bonitet (Rognstad et al, 2016, s 159 – 160). Det var kun tre bonitetsklasser registrert i datasettet, og temperatursum varierte lite med minimumsobservasjon på 674 til maksimumsobservasjon 785 (Tabell 3). Det kan antas at temperatur er en begrensende faktor for vekst så langt nord. Til tross for liten variasjon i enkelte variabler viste flere av disse en signifikant sammenheng med en eller flere egenskaper.

4.1 Variablenes effekt på densitet, E-modul og bøyefasthet

4.1.1 Årringbredde

Resultatene viste at årringbredde hadde en signifikant sammenheng med densitet, hvor densiteten sank med økende årringbredde. Auty et al. (2013, s. 449) beskriver sammenhengen mellom årringbredde og densitet som negativ for gran (*Picea abies*), mens det for furu ikke er en like tydelig sammenheng mellom densitet og årringbredde. Andre beskriver forholdet mellom årringbredde og densitet for furu som for gran, hvor densiteten avtar med økende årringbredde (Vadla, 2008, s. 19 - 20). Dette er kanskje den sammenhengen som er mest velkjent, og som gjør sammenhengen funnet i denne studien forventet. Densitet hos furu påvirkes også av genetikk, veksthastighet og alder (Peltola et al., 2009, s. 340).

Med økende årringbredde vil andelen tidligved øke. Tidligveden har tynnere cellevegger enn seinveden. De tynne celleveggene gir økt andel hulrom og mindre andel masse per volumenhet, som igjen gir lavere densitet. Dersom trevirke fra samme vekstområde, men med ulike årringbredde, sammenlignes, vil smalere årringbredde gi høyere densitet (Skogstad, 2009, s. 29). Dette på grunn av at smale årringer inneholder mest seinved, og gir tyngre og sterkere ved med høyere densitet (Nagoda, 1992, s. 7). I denne studien er bestandene spredt over et større geografisk område (Figur 1), men vekstforholdene er som tidligere beskrevet relativt like. Ved svært smale årringer kan det oppstå hungerved på lave boniteter. Denne typen ved har redusert

densitet og styrkeegenskaper, og kan forekomme i studieområdet på grunn av kombinasjonen mellom lave boniteter og kort vekstsesong (Sunding, 2020).

Rendle og Phillips (1958) sammenlignet ved dannet tidlig i treets liv med ved dannet senere i livsløpet med samme årringbredde hos bartrær. Funnene viste at veden dannet senere alltid har høyere densitet enn veden dannet tidlig, noe som også gjelder for furu. De mente dette indikerte at den høye densiteten til eldre trær er på grunn av alder, og ikke nødvendigvis på grunn av avtakende årringbredde. De konkluderte med at etter en viss alder kan hurtig vekst produsere trevirke med relativt høy densitet. Dermed vil alder både ha en indirekte effekt densiteten gjennom avtakende årringbredden, men også har en direkte effekt på densiteten gjennom at andelen ungdomsved med lavere densitet avtar. Dette kan være en faktor som også bidro til at årringbredde hadde en signifikant sammenheng med densitet, da det i denne studien var tre unge bestand som hadde større årringbredde enn de resterende bestandene (Tabell 4). De unge bestandene vil ha høyere andel ungdomsved enn de eldre bestandene, og dermed ha lavere densitet. Andelen ungdomsved i tverrsnittet er avhengig av treets alder og hvor i stammen stokken er hentet fra. Andelen avtar med økende alder, og øker med økende stammehøyde.

I denne studien fant jeg ingen signifikant sammenheng mellom årringbredde og E-modul og bøyefasthet, som var forventet å finne. En av årsakene kan være at årringbredde kun ble målt i brysthøyde, og ikke per planke. Dermed var det gjennomsnittlig årringbredde for hvert tre som ble modellert for alle plankene fra treet, noe som kan ha påvirket resultatet. Andre studier har funnet at årringbredde har en negativ korrelasjon med disse to egenskapene (Høibø & Vestøl, 2010, s. 676). Som tidligere nevnt, var det en sterk negativ korrelasjon mellom årringbredde og alder (Tabell 8). Ettersom disse variablene var sterkt korrelert ble mest sannsynlig kun en av dem med i sluttmodellen, og i tilfellet i dette studiet var det årringbredde som hadde en bedre sammenheng med densitet.

4.1.2 Bonitet og temperatursum

Bonitet hadde signifikant på E-modul (modell ρ_2) og bøyefasthet (modell ρ_4), hvor verdiene for begge egenskapene sank med økende bonitet. Dette funnet er forventet, da høyere bonitet gir økt næring og bedre vekstforhold som igjen påvirker årringbredde og densitet. Ifølge Dias et al. (2018, s. 2) er bonitet en av faktorene som har en sterk innvirkning på densitet hos furu. Ifølge Peltola et al. (2009, s. 340) vil en økning i vekst også gi en liten reduksjon i densitet.

Dersom det er en kombinasjon av god bonitet og gunstige vekstforhold, som lav bestandstetthet, vil dette kunne gi en tydelig reduksjon i densitet, og dermed påvirke styrkeegenskapene negativt. Det er verdt å nevne at bestandene som vokste på de høyeste bonitetene også var de yngste bestandene i denne studien. Dette kan bidra til å forsterke effekten av bonitet i modelleringen, men funnet er likevel forventet.

Temperatursum hadde også en signifikant sammenheng med E-modul og bøyefasthet, hvor temperatursum hadde en positiv effekt på begge egenskapene. Temperatursummen som inngikk i modellene i denne studien er korrigert for bonitet, i tillegg til de andre variablene som inngikk i modellene. Dette betyr det at dersom man får endret bonitet på grunn av temperatursum, vil det ha en annen effekt enn om boniteten endres på grunn av jordbunnsforhold. Flere studier har undersøkt effekten av klima på vekst hos furu. Antonova og Stasova (1993, s. 218) undersøkte effekten av temperatur og nedbør på veddannelse hos furu. De fant at temperaturen hadde størst effekt i mai og juni, mens nedbør hadde størst effekt i juli og august. De fant også at temperatur påvirket veddannelsen i større grad enn nedbør. Tuovinen (2005) fant at årringbredden og densiteten i seinveden var sterkt kontrollert av temperaturen i juni og august. I studieområdet vil den korte vekstsesongen, kombinert med lave temperaturer, kunne redusere densiteten da andelen seinved i årringen synker. En studie som undersøkte furu i Finland og Sverige fant at temperatursum var den viktigste faktoren for høydetilvekst og overlevelse (Berlin et al., 2016, s. 14).

4.1.3 Relativ DBH og relativ høyde

Relativ DBH hadde signifikant negativ effekt på E-modul (modell ρ_2) og bøyefasthet (modell ρ_4). Dette var den nest viktigste variabelen i begge modellene hvor relativ DBH var inkludert (modell ρ_2 og ρ_4). Ford (1985, s. 237) fant at de største furutrærne hadde desidert størst tilvekst, uavhengig av kronedimensjon, både mellom og innad i trærnes statusklasser (undertrykt, medherskende eller herskende) i bestandet. Trær som har et større areal å vokse på vil ha en større andel tidligved, og dermed vil densitet påvirkes negativt, og dermed også E-modul og bøyefasthet som begge er positivt korrelert med densitet. I tillegg vil økt planteavstand, eller dominans innad i bestand, gi lengre og tykkere greiner, som igjen gir større fiberhelling og lavere styrkeegenskaper. Tidligved har i tillegg til tynnere cellevegger også andre egenskaper som minner om ungdomsved, og denne har svakere mekaniske egenskaper enn voksen ved (Mederski et al, 2015, s. 118). Peltola et al. (2009, s. 340) skrev at spesielt for furu var en økning

i vekst antatt å, til en viss grad, gi lavere densitet. Dette kan bidra til å forklare hvorfor relativ DBH hadde en negativ effekt på E-modul og bøyefasthet, da økt tilvekst også gir bredere årringer.

Høibø og Vestøl (2010, s. 669) fant at E-modul, DBH og årringbredde var de variablene som reduserte bøyefastheten mest. I denne studien er det ikke undersøkt hvordan E-modul påvirker bøyefasthet, og årringbredde viste en signifikant sammenheng kun med densitet. Ettersom årringbredde var sterkt korrelert med bonitet (Tabell 8), kan det bidra med å forklare hvorfor årringbredde ikke ble med i modellene for E-modul og bøyefasthet. I analysen av årringbredde i kapittel 3.4 viste relativ DBH, alder og bonitet en signifikant sammenheng med årringbredde. Dette kan også bidra med å forklare hvorfor årringbredde ikke viste en signifikant sammenheng med E-modul og bøyefasthet i modellene, da relativ DBH og bonitet var med i modellene for E-modul og bøyefasthet.

Relativ høyde var den eneste variabelen som inngikk i modellene basert på skoglige data for alle tre egenskapene, og var i tillegg den viktigste variabelen i de tre modellene den var inkludert (ρ_1 , ρ_2 og ρ_4). Relativ høyde hadde negativ effekt på alle tre egenskapene, hvor verdiene sank med økende relativ høyde. Dette er forventet da densiteten synker, og kvistdiameteren øker, med økende stammeøyde hos furu. Kombinasjonen av lavere densitet og økt kvistdiameter svekker både E-modul og bøyefasthet. Sammenhengen mellom høyde i stammen og egenskaper for furu er også funnet i andre studier (Krzosek et al., 2020, s. 9; Kollamn og Côté, ÅR, s. 168; Vestøl et al., 2004, s. 27-28), hvor stokkens plassering i stammen gir utslag på egenskapene densitet, E-modul og bøyefasthet.

Mankowski et al. (2020, s. 5412) fant i tillegg at effekten av årringbredde på E-modul og bøyefasthet hos furu var avhengig av hvor i stammen stokken var hentet fra. De høyeste verdiene for E-modul og bøyefasthet ble funnet i rotstokkene, mens de laveste verdiene ble funnet i toppstokkene. I tillegg var korrelasjonen mellom årringbredde og E-modul og bøyefasthet avhengig av hvilken kvalitetsklasse stokken ble kategorisert som. Høyere kvalitetsklasse ga høyere verdier for E-modul og bøyefasthet for en gitt årringbredde. Ved visuell sortering er dette forventet da kvist fører til fiberhelling, og gir en lavere kvalitet på planken.

Høibø & Vestøl (2010, s. 677) fant at de høyeste verdiene for E-modul og bøyefasthet til rundtømmer av furu var i rotstokken hos de undertrykte trærne, mens de laveste verdiene ble funnet i toppstokken hos de dominerende trærne. Dette kan også bidra til at relativ høyde viste en signifikant sammenheng med alle egenskapene. Ettersom relativ DBH også viste en sammenheng med egenskapene, vil kombinasjonen av økt relativ DBH og relativ høyde i stokken gi svakere mekaniske egenskaper. Ettersom andelen ungdomsved i stokkens tverrsnitt også øker med økende høyde i stammen, kan det i tillegg bidra til å forklare hvorfor toppstokker ofte har dårligere mekaniske egenskaper enn rotstokker.

4.1.4 Densitet og kvist mot E-modul og bøyefasthet

Densitet hadde signifikant effekt på både E-modul og bøyefasthet, hvor begge egenskapene økte med økende densitet. Dette var forventet å finne da densitet, som nevnt i innledningen, har stor betydning for trevirkets mekaniske egenskaper hvor økt densitet gir økte styrkeegenskaper og E-modul. Densitet, i tillegg til seinvedandelen, er avhengig av treets alder, brysthøydiameter, gjennomsnittlig årringbredde, stokkens posisjon i stammen og temperatursum (Wilhelmsson et al., 2002, s. 345). Fordelingen av densitet til trelasten i denne studien var skjevfordelt mot venstre (Figur 5). En av årsakene til dette kan være at noe av trevirket hadde et høyt innhold av harpiks, som vil føre til høyere verdi uten at det påvirker de mekaniske egenskapene.

En annen studie fant en lav sammenheng mellom densitet og E-modul og bøyefasthet, men fant derimot at egenskapene økte med økende bestandstetthet (Šilinskas et al., 2020, s. 6 – 8). Bestandstettheten påvirker, i tillegg til kvist, treets veksthastighet som igjen påvirker densitet (Peltola et al., 2020, s. 340). Et tre som har mindre plass vil utvikle mindre kvist og krone, og dermed vokse saktere og utvikle smalere årringer, enn en tre med mer vokseplass. Dermed kan bestandstettheten være en av faktorene som påvirker densitet, hvor høyere bestandstetthet kan ha en positiv effekt på densitet, E-modul og bøyefasthet. Effekten av tetthet vil være lavere på lave boniteter, da trærne allerede er saktevoksende og tetthet ikke vil begrense veksten på samme måte som for høyere boniteter.

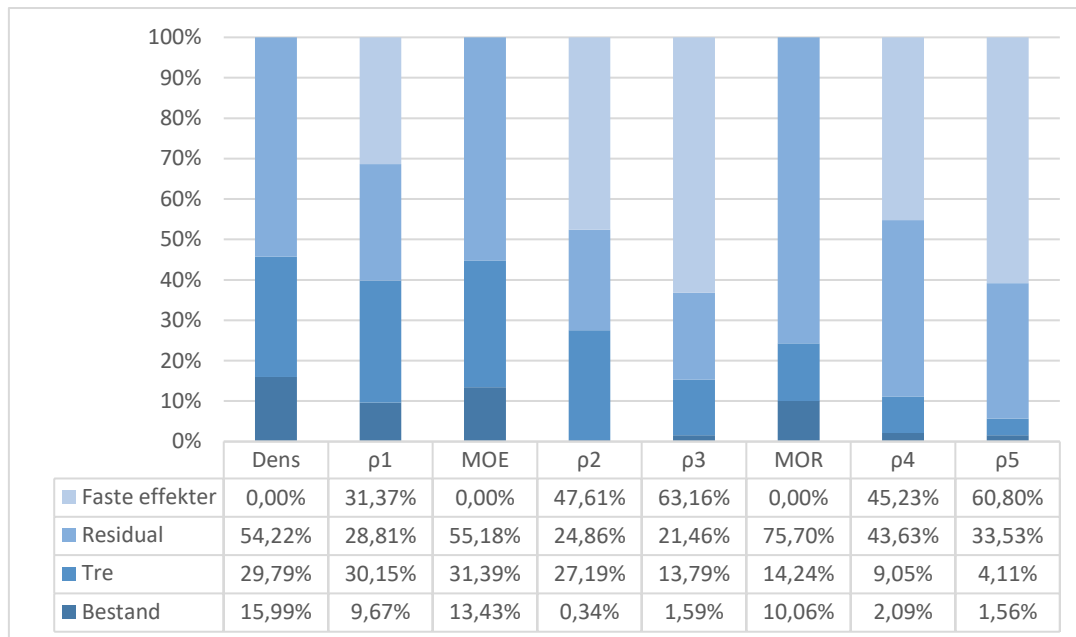
Flatsidekvist, kantsidekvist og kvistgruppe hadde også signifikante effekter på E-modul og bøyefasthet. Kantsidekvist og flatsidekvist hadde signifikante effekter på E-modul og bøyefasthet, mens kvistgruppe kun hadde signifikant effekt på bøyefasthet. Alle kvistvariablene

hadde negative effekter på E-modul og bøyefasthet. Dette var forventet da kvistdiameter er negativt korrelert med bøyefasthet (Kollamn og Cote, 1968), men positivt korrelert med diametervekst (Høibø og Vestøl, 2010, s. 676).

Flere studier peker på bestandstetthet som en viktig faktor for E-modul og bøyefasthet, hvor egenskapene øker med økende tetthet (Šilinskas et al., 2020; Erasmus & Brand Wessels, 2019; Krieger, 1998). Dette er naturlig, da økt plantetetthet fører til økt densitet og smalere årringer og reduserer antall kvist og kvistdiameter, som igjen påvirker E-modul og bøyefasthet. I et naturlig forynget furubestand vokser trærne relativt tett, noe som fører til naturlig kvisting (Mederski et al., 2015, s. 118). I studieområdet vil klima og bonitet være de viktigste begrensende faktorer for vekst, i større grad en tetthet.

Ved modellering av E-modul og bøyefasthet ble det laget egne modeller med kvist og densitet som forklaringsvariabler. Dette var for å kunne sammenligne hvor stor effekt densitet og kvist hadde på egenskapene sammenlignet med de øvrige modellene. For E-modul og bøyefasthet ble nærmere halvparten av variasjonen forklart av de faste effektene i modell ρ_2 og ρ_4 . De faste effektene for E-modul økte til ca. 63% i modell ρ_3 , mens de for bøyefasthet økte til ca. 60% i modell ρ_5 . Dermed forklarte modellene med densitet og kvist som forklaringsvariabler mer av variasjonen for begge egenskapene, sammenlignet med modellene som inneholdt variabler på bestands-, tre-, stokk- og planknivå (ρ_2 og ρ_4). Dette er ikke uventet da, som tidligere nevnt, densitet og kvist påvirker trevirkets mekaniske egenskaper.

Figur 14 viser prosentvis fordeling av varianskomponentene til hver egenskap, hvor mye de faste effektene i hver modell forklarte, og fordelingen på varianskomponentene i variansen som ikke ble forklart av de faste effektene i modellene.



Figur 14. Oversikt over varianskomponentfordeling i prosent (%) for de ulike modellene på bestands-, tre- og residualnivå, samt faste effekter. Dens, MOE og MOR viser varianskomponentfordelingen før variablene ble lagt inn i modellene.

I en rapport fra Treteknisk (Norsk Treteknisk Institutt, 2006, s. 27) ble det funnet at små feilfrie prøver av furu fra dalstrøk på Østlandet og Sørlandet hadde en gjennomsnittlig basisdensitet på 418 kg/m^3 , gjennomsnittlig E-modul på $12\,536 \text{ N/mm}^2$ og gjennomsnittlig bøyefasthet på $81,7 \text{ N/mm}^2$. Til sammenligning var gjennomsnittsverdien for densitet i denne studien på 448 kg/m^3 , for E-modul var gjennomsnittet $10,27 \text{ kN/mm}^2$ og for bøyefasthet var gjennomsnittet $40,17 \text{ N/mm}^2$. Standardavviket for densitet, E-modul og bøyefasthet var henholdsvis $61,3 \text{ kg/m}^3$ og $16,1 \text{ kg/m}^3$ for trevirket fra Øst- og Sørlandet. I denne studien var standardavviket for densitet 39 kg/m^3 , E-modul $1,97 \text{ kN/mm}^2$ og bøyefasthet $12,6 \text{ N/mm}^2$. Dermed var spredningen av observasjoner i denne studien lavere for alle egenskapene sammenlignet observasjonene i den nevnte rapporten. Dette tyder på mindre variasjon i egenskapene til konstruksjonsvirke av furu fra Troms og Finnmark sammenlignet med trevirket fra Øst- og Sørlandet.

Differansen i verdiene i rapporten fra Treteknisk og det som er funnet i denne studien var størst for bøyefasthet. Verdien var omtrent dobbelt så høy i trevirket fra Øst- og Sørlandet i forhold til trevirket fra Troms og Finnmark. Verdiene for bøyefasthet funnet i denne studien indikerer likevel at det kan være mulig å anvende trevirke fra studieområdet som konstruksjonsvirke i henhold til fasthetsklassene i NS-EN 338 (Tabell 2). Verdiene for E-modul var også høyere i trevirket fra Øst- og Sørlandet, med om lag $2,3 \text{ kN/mm}^2$ mer enn i denne studien. Verdiene for E-modul funnet i denne studien indikerer også at trevirket muligens kan klassifiseres i henhold

til NS-EN338 (Tabell 2). Gjennomsnittlig densitet i denne studien var noe høyere enn gjennomsnittet for Øst- og Sørlandet, med 30 kg/mm^3 mer. Dette kan skyldes den lave andelen tidligved i årringene, men det kan også skyldes et høyt innhold av harpiks i trevirket testet i denne studien. Uavhengig av grunn indikerer verdiene for densitet funnet i denne studien at trevirket kan være innenfor kravet til EN-NS 338 (Tabell 2). Ettersom rapporten fra Treteknisk undersøkte små feilfrie prøver vil E-modul og bøyefasthet være høyere enn for trelast som inneholder feil, som i denne studien. Densitet derimot kan sammenlignes uavhengig av dette.

4.1.5 Variabler ikke inkludert i modellene

Enkelte av variablene ble ikke med i noen av sluttmodellene. Variablene som ikke ble inkludert i noen modeller var høyde over havet (ALT), gjennomsnittlig DBH ($DBH_{gi.snitt}$), kronehøyde (H360), høyde til midt i testet plank (H) og alder (Age). Det var relativt liten variasjon i høyde over havet i datasettet (Tabell 3), noe som kan ha bidratt til at denne variabelen ikke hadde noen signifikant sammenheng med noen av egenskapene. Gjennomsnittlig DBH ville trolig hatt en signifikant sammenheng med E-modul og bøyefasthet, dersom relativ DBH ikke hadde vært en variabel, da disse var sterkt korrelert (Tabell 8). Gjennomsnittlig DBH og alder var også sterkt korrelert (Tabell 8), og heller ikke alder hadde en signifikant sammenheng med noen av egenskapene i modellene. Alder og gjennomsnittlig DBH kan si noe om treets årringbredde og andel ungdomsved, hvor økt alder gir smalere årringer og lavere andel ungdomsved, men økt DBH kan gi økt årringbredde. Kronehøyde hadde heller ingen signifikant sammenheng med noen av egenskapene, sannsynligvis på grunn av relativt liten variasjon mellom bestand (Tabell 4) og korrelasjon med andre variabler (Tabell 8).

Ettersom det var relativt lave boniteter i studien, vil kronehøyde ikke spille like stor rolle da det er mindre forskjeller mellom trærne i bestandene og tilveksten i større grad er begrenset av klima og jordbunnsforhold enn av tetthet i bestandet. Dersom det hadde vært et større spekter av boniteter kan det tenkes at kronehøyde ville vist en signifikant sammenheng med noen av egenskapene, da kronen påvirker vekst og kvistutvikling. Høyde til midt i testet plank viste heller ingen signifikant sammenheng med noe av egenskapene. Dette kan forklare at relativ høyde også var inkludert i modellene, og de to variablene var sterkt korrelert (Tabell 8). Alder viste heller ingen signifikant sammenheng med noen av egenskapene. Ettersom alder var sterkt korrelert med gjennomsnittlig DBH og gjennomsnittlig årringbredde (Tabell 8) forklarte disse variablene noe av det samme som alder.

4.2 Resultatene knyttet opp mot skogskjøtsel

Gjennom skogbehandling kan man, som nevnt innledningsvis, til en viss grad påvirke trevirkets mekaniske egenskaper. Ifølge Zobel og van Buijtenen (1989, s. 218) kan all såkalt ekstrem skjøtsel endre trevirket nok til å påvirke sluttproduktet. Definisjonen på ekstrem skjøtsel er uklar, men også gjennom normal skjøtsel kan skogeier velge å skjøtte skogen på en måte som gir trevirke med bedre mekaniske egenskaper.

Tettheten ved etablering er viktig for bestandets videre utvikling. Naturlig foryngelse er den vanligste metoden for furu, gjerne ved hjelp av markberedning. Enkelte steder plantes også furu, ofte ved proveniensskifte. Suppleringsplanting er en måte å sørge for tilfredsstillende tetthet ved etablering av nytt bestand, også for furu. Hvilken tetthet som er anbefalt er avhengig av bonitet, men for de lave bonitetene er det anbefalt et lavere antall planter. For et furubestand med bonitet 11 er det anbefalt 170 planter/da (Norgesplanter, u. å.). Det som er viktig å tenke på, er å sørge for tilstrekkelig tetthet ved etablering, slik at bestandet vil tåle naturlig avgang i tillegg til andre uforutsette årsaker til tredød.

Etter etablering av bestand, og eventuell ungskopleie, er tynning skogeiers første mulighet til å få inntekt fra avvirkning i bestandets omløp. Flere studier har undersøkt effekten av tynning på vekst og virkesegenskaper. Et studium fant at i årene etter tynning økte årringbredden, men at prosentandelen med seinved ikke ble nevneverdig påvirket (Guller, 2006, s. 473). Dette kan allikevel gi lavere styrkeegenskaper i årringene påvirket av tynning, men trenger ikke nødvendigvis påvirke styrkeegenskapene til treets som helhet. I hvilken grad man velger å tynne kan derimot ha en effekt på styrkeegenskapene. Zhang et al. (2006) fant at økende tynningsintensitet hadde negativ effekt på de mekaniske egenskapene til trevirke av banksfuru.

Tynning har også en utvalgseffekt som man kan utnytte ved å velge hvilke trær som står igjen etter tynning. Som følge av at økende DBH har negativ effekt på densitet, i tillegg til at de dominerende trærne generelt har lavere styrkeegenskaper, kan det være positivt med høytynning hvor de dominerende trærne tas ut gjennom tynning. Dette gir rom for de undertrykte trærne i bestandet til å vokse, og ettersom de har hatt en sakte vekst frem til tynning vil de ha bedre styrkeegenskaper enn de dominerende trærne.

Det kan også nevnes at gjødslet skog, naturlig nok, vokser raskere og gjødsling kan øke biomassen med opptil 108% (Rodriguez & Tomazello-Filho, 2019, s. 836). Dette vil gi lavere

densitet, som er signifikant i inntil seks år etter gjødslingen forekom. I tillegg vil veden dannet etter gjødsling forbli ungdomsved lenger enn ubehandlet ved Per nå er ikke gjødsling spesielt aktuelt i studieområdet, men det kan tenkes at de i fremtiden vil tas mer i bruk dersom vekstsesongen blir tilstrekkelig for å få effekt av gjødslingen. Dermed kan effekten av gjødsling på styrkeegenskapene være verdt å ta hensyn til dersom man ønsker et sterkere trevirke.

Det er, som nevnt innledningsvis, mye fokus på å øke tilveksten i dagens kommersielle skogbruk. Fremtidens spådde varmere og våtere klima vil være gunstig for furua i studieområdet, hvor vekstsesong og temperatur i dag er blant de viktigste faktorene som begrenser tilveksten. Selv med økte temperaturer og mer nedbør kan andre faktorer som bonitet allikevel hindre at tilveksten blir så stor at det påvirker styrkeegenskapene nevneverdig. På de lave bonitetene vil skjøtsel i tillegg ha mindre effekt på vekst og virkesegenskaper enn på gode boniteter. Med dårligere vekstpotensial på de lave bonitetene vil trærne naturlig ha saktere vekst, noe som er gunstig med tanke på de mekaniske egenskapene. At det var lite variasjon i datasettet, og dermed lite variasjon på voksestedene, kan allikevel være fordelaktig da det også vil gi mindre variasjon i sluttproduktet, noe denne studien viste med lite variasjon i resultatene.

Ettersom variasjonen i studieområdet var lav, kan rotasjonsalder være en av de viktigste faktorene å ta hensyn til for å få trevirke med best mulig styrkeegenskaper av trevirket derfra. De tre yngste bestandene i denne studien var også de med høyest årringbredde. Hva som er optimal omløpstid, vil variere med en rekke faktorer. En studie som undersøkte banksfuru (*Pinus banksiana*) i Ontario, Canada fant at de mekaniske egenskapene enten flatet ut eller nådde et maksimum når trærne nådde 73 år (Duchesne, 2006, s. 93). Ettersom vekstsesongen i studieområdet er kort, vil den optimale rotasjonsalderen der være lengre enn det som er funnet i den overnevnte studien. Akkurat hvor grensen går for at de mekaniske egenskapene enten når maksimum eller avtar i denne studien, er vanskelig å si, men omløpstiden i studieområdet bør være på litt over 100 år dersom man ønsker en årringbredde på maks 1 mm. (Tabell 4).

Gjennom å avvirke bestandet ved optimal rotasjonsalder kan skogeier være med på å påvirke de mekaniske egenskapene til trevirket. Det kan være viktig for skogeiere å ha fokus på å ikke avvirke bestandet når det er for ungt, da andelen ungdomsved synker med økende alder. Årringbredden er i tillegg høyere for yngre bestand, så ved å la bestandet stå lenge nok kan de mekaniske egenskapene påvirkes i positiv retning. Samtidig er det viktig å ikke la bestandene stå for lenge før de sluttavvirkes, da tilveksten avtar og styrkeegenskapene ikke nødvendigvis

øker ettersom bestandet blir eldre. I tillegg kan det potensielt føre til økonomisk tap å la bestandene stå for lenge med tanke på dødelighet, og eventuelle naturskader som kan oppstå.

Bestandstetthet er en annen faktor som kan ha en innvirkning på egenskapene til trevirket, og som skogeier kan påvirke. En høyere tetthet reduserer kviststørrelse og årringbredde. Ifølge Auty et al. (2013, s. 450) kan skogskjøtselstiltak for å endre bestandstettheten, som endringer i utgangstetthet, tynning eller rotasjonsalder, påvirke trevirkets densitet og andre egenskaper gjennom deres effekt på kronen og andelen ungdomsved i stammen. Ettersom det i studieområdet er lave boniteter og klima som hovedsakelig styrer veksten vil ikke effekten av tetthet være like stor her som på gode boniteter med varmere klima. En høyere tetthet kan allikevel kunne redusere kvistdiameteren, som igjen kan øke styrken i trevirket.

Et viktig moment når det kommer til skogbehandling er hvorvidt skogeier selv er interessert i å gjennomføre tiltak, og eventuelt i hvilken grad. I praksis vil ikke de mekaniske egenskapene til trevirket være noe som påvirker inntekten til skogeier, og det er derfor ekstra viktig å øke kunnskapen om dette temaet for å kunne hente ut virke med gode mekaniske egenskaper fra norske skoger. Kunnskap og formidling angående skogskjøtselstiltak, hvordan de kan påvirke trevirkets egenskaper og viktigheten av rotasjonsalder kan bidra til at skogeier tar valg som gir trevirke med økte styrkeegenskaper. I områdene i Finnmark, hvor virke ble hentet ut fra til denne studien, er det FeFo som er grunneier. I slike områder, hvor det er én stor grunneier, kan det være spesielt viktig å informere skogeiere om hvordan de kan påvirke trevirkets egenskaper gjennom ulike skjøtselstiltak.

Etter andre verdenskrig har det vært drevet et mer aktivt skogbruk i studieområdet, med flere skjøtselstiltak. Dermed har furu etablert på 50- og 60-tallet hatt andre vekstvilkår enn skog etablert tidligere. Dette vil sannsynligvis ha en effekt på egenskapene til trevirket fra området (Prosjektbeskrivelse, u. å.). All skjøtsel er uansett, og uavhengig av mål, en langsiktig investering i fremtidig skog og fremtidig inntekt for skogeier. Det som kan være utfordrende er å bestemme seg for hva man ønsker å oppnå med skjøtselstiltakene man vil utføre, og hvordan man vil påvirke virkeskvaliteten.

4.3 Feilkilder

I enhver studie som baserer resultatet på innsamlet data kan det oppstå feil, og dess mer det er å registrere dess høyere er sannsynligheten for at det oppstår feil. I denne studien var det en rekke folk involvert, i alt fra utvelgelse av bestand, behandling av trevirke og til sist målinger på lab. Det ble registrert mange ting både i felt og på lab, ved bruk av en del ulike måleinstrumenter. Her kan det oppstå systematiske og tilfeldige feil. Systematiske feil kan være feil som oppstår dersom et instrument måler feil, og den samme feilen blir registrert om og om igjen. Systematiske feil kan være menneskelig feil hvor enkeltregistreringer bli målt ukorrekt.

Et eksempel på en feilkilde i denne studien er den usannsynlig høye densiteten som ble registrert for en planke, som ble fjernet fra modelleringen. Det kan ha vært en tilfeldig feil i målingen, men det kan også være at prøven ble tatt ut fra en del av planken som inneholdt store mengder harpiks. Dette kan ha gitt utslag ved beregning av densitet.

For å unngå feil i registrering så langt det lot seg gjøre, ble det utarbeidet en feltinstruks for innsamling av data i felt. I forbindelse med registrering på lab ble det gitt nøye opplæring i bruk av instrumenter og hvordan målingene skulle gjennomføres. Dermed ble muligheten for feilregistreringer redusert, selv om de allikevel kan ha oppstått.

En kjent feil som oppstod i denne studien, var at datasettet som ble benyttet til modelleringen manglet seks observasjoner. Denne feilen skyldtes at plankene var skåret fra små toppstokker, som ikke var tenkt å skjære og som det derfor ikke var registrert stokkdata for. Dette ble oppdaget seint i skriveprosessen, og det ble dermed ikke nok tid til å inkludere disse observasjonene i modellene. Ettersom det var et høyt antall observasjoner vil det mest sannsynlig ikke ha påvirket resultatene nevneverdig.

5. Konklusjon

Modellene som ble utviklet i denne studien viste at densitet, E-modul og bøyefasthet hadde sammenheng med flere bestand- tre- og stokkvariabler. Hvilke variabler som var med i modellene varierte mellom egenskapene, men relativ høyde i stammene var signifikant for alle egenskapene. Densitet hadde også en signifikant sammenheng med årringbredde. E-modul og bøyefasthet hadde i tillegg signifikant sammenheng med relativ DBH, bonitet og temperatursum. E-modul og bøyefasthet hadde også en signifikant sammenheng med densitet og kvist.

Trevirkets vekst i studieområdet er i stor grad styrt av bonitet og klima, dermed vil effekten av skogskjøtselstiltak ikke være like stor som andre steder i Norge, hvor klima er mindre begrensende. Modellene beskriver variasjonen i densitet og mekaniske egenskaper til konstruksjonsvirke av furu, og effekter av skogbehandling på virkesegenskapene er diskutert med utgangspunkt i modellene. Faktorer som skogeier bør ta hensyn til, dersom målet er å produsere konstruksjonsvirke med gode egenskaper, er plantetetthet ved etablering, hvordan man gjennomfører avstandsregulering og tynning og alder ved sluttavvirkning.

Egenskapene til konstruksjonsvirke av furu fra Troms og Finnmark er ikke så dårlige som tidligere antatt, og videre undersøkelser vil vurdere hvilke styrkeklasser man kan oppnå i henhold til NS-EN 338 med visuell sortering. Dette skal undersøkes nærmere i en annen rapport fra prosjektet.

Litteraturliste

- Andreassen, K., Eriksen, R., Tomter, S. & Granhus, A. (2012). *Statistikk over skogforhold og skogressurser i Troms*. (Norsk institutt for Skog og landskap Rapport 02/2012).
- Antonova, G. F. & Stasova, V. V. (1993). Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems. *Trees*. Nr. 7
- Auty, D., Achim, A., Macdonald, E., Cameron, A. D. & Gardiner, B. A. (2013). Models for predicting wood density variation in Scots pine. *Forestry*, 2014, 87.
- Barnett, J. R. & Jeronimidis, G. (2003). *Wood Quality and its Biological Basis*. Blackwell Publishing
- Berlin M., Persson T., Jansson G., Haapanen M., Ruotsalainen S., Barring L., Andersson Gull B. (2016). Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica*. Vol. 50. Nr 3 <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1562>
- Bramming, J. (u.å.). *Egenskaper ved trevirke relatert til styrke*. Treteknisk. https://www.takstol.com/uploads/1/trevirkets_egenskaper_sertifisering_og_kontroll_konstruksjonsvirke_bramming.pdf
- Dias, A., Gaspar, M. J., Carvalho, A., Pires, J., Lima-Brito, J., Silva, M. E. & Louzada, J. L. (2018). Within- and between-tree variation of wood density components in *Pinus nigra* at six sites in Portugal. *Annals of Forest Science* (2018) 75: 58. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0734-6>
- Dreyer, E. & Leban, J.-M. (Red.). (2012). *Annals of Forest Science* (2. utg.). French National Institute for Agriculture, Food and Environment
- Duchesne, I. (2006). Effect of rotation age on lumber grade yield, bending strength and stiffness in Jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.) natural stands. *Wood and Fiber Science*. No. 38

- Duursma, R. (1998). *The crown form of Scots pine (Pinus sylvestris L.): a semi-explanatory model evaluated for "de Veluwe"*. Wageningen Agricultural University
- Erasmus, J. & Brand Wessels, C. (2019). The effect of stand density management on Pinus patula lumber properties. *European Journal of Forest Research*. (IF 2.451).
- Finnmarkseiendommen. (u.å.). *Skog og ved*. <https://www.fefo.no/naturressurser/skog-og-ved/>
- Ford, E. D. (1985). Branching, crown structure and the control of timber production. *Attributes of trees as crop plants*. Centre for Ecology & Hydrology.
- Forest Products Laboratory. (1999). *Wood handbook: wood as an engineering material*. General technical report FPL; GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory
- Foslie, M. (1963). Styrkeegenskapene hos furu (Pinus sylvestris) fra Pasvik og fra Østlandet. *Norsk Treteknisk Institutt*
- Fremstad, E. (1998). *Vegetasjonstyper i Norge (2. utg.)*. Norsk institutt for naturforskning.
- Guller, B. (2006). The effects of thinning treatments on density, MOE, MOR and maximum crushing strength of Pinus brutia Ten. wood. *Annals of Forest Science*. No. 64. <https://doi.org/10.1051/forest:2007024>
- Høibø, O. & 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*. 2010, nr. 40
- JMP®, Version 15. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2019.
- Kilpeläinen, A., Peltola, H., Ryyppö, A., Sauvala, K., Laitinen, K. & Kellomäki, S. (2003). Wood properties of Scots pines (Pinus sylvestris) grown at elevated temperature and carbon dioxide concentration. *Tree Physiology 2003*. Heron Publishing

- Kollmann, F. F. P. & Côté, W. A. (1968). *Principles of Wood Science and Technology, I Solid Wood*. Berlin, Heidelberg, New York. Springer-Verlag
- Krieger, C. (1998). The Effects of Tree Spacing on Diameter, Height and Branch Size in White Spruce. *P.E.I. Department of Agriculture and Forestry, Forestry Division*
- Krzosek, S., Burawska-Kupniewska, I. & Mańkowski, P. (2020). The Influence of Scots Pine Log Type (*Pinus sylvestris* L.) on the Mechanical Properties of Lumber. *Forests* 2020, 11(12), Artikkel 1257. <https://doi.org/10.3390/f11121257>
- Mankowski, P., Burawska-Kupniewska, I., Krzosek, S. & Grzeskiewicz, M. (2020). Influence of Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth Rings Width on the Strength Properties of Structural Sawn Timber. *BioResources* 15 (3).
- Mederski, P. S., Bembenek, M., Karaszewski, Z., Giefing, D. F., Sulima-Olejniczak, E., Rosińska & Lacka, A. (2015). Density and mechanical properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood from a seedling orchard. *Drewno* 2015. Vol. 58. Nr. 195 <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.123.10>
- Microsoft Corporation (2016). *Microsoft Excel*. <https://office.microsoft.com/excel>
- Morén, A-S. & Perttu, K. L. (1994). *Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land*. Faculty of Forestry, Swedish University of Agricultural Sciences
- Nagoda, L. (1992). *Feil og uregelmessigheter hos trevirke*. Norges landbrukshøgskole, Institutt for skogfag
- Nagoda, L. (1985). *Virkeskvalitet og skogbehandling*. Norges landbrukshøgskole, Institutt for treteknologi
- NIBIO. (2019, 5. mai). *Volum og tilvekst gjennom 100 år*. <https://www.nibio.no/tema/skog/skog-og-miljoinformasjon-fra-landsskogtakseringen/N%C3%B8kkeltall/volum-og-tilvekst-gjennom-100-ar>

- NIBIO. (u. å.). *Skogbehandling og skogskjøtsel*.
<https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel>
- Norgesplanter. (u. å.). *Hvor mye bør jeg plante per dekar?*
<https://norgesplanter.no/2017/04/26/hvor-mye-bor-jeg-plante-per-dekar/>
- Norsk Treteknisk Institutt. (2006). Fysiske og mekaniske egenskaper hos norsk gran og furu.
Norsk Treteknisk Institutt. Rapport nr. 65
- Peltola, H., Gort, J., Pulkkinen, P., Zubizarreta Gerendiain, A., Karppinen, J. & Ikonen, V-P. (2009). Differences in Growth and Wood Density Traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Genetic Entries Grown at Different Spacing and Sites. *Silva Fennica* 43(3)
- Prosjektbeskrivelse. (u.å.). *Tretekniske egenskaper til furu fra kulturskog i Troms og Finnmark*. Regionale Forskningsfond.
- Rendle, B. J. & Phillips, E. W J. (1958). The effect of rate growth (ring width) on the density of softwoods. *Forestry: An International Journal of Forest Research* (2. utg.).
<https://doi.org/10.1093/forestry/31.2.113>
- Rodriguez, D., R., O. & Tomazello-Filho, M. (2019). Clues to wood quality and production from analyzing ring width and density variabilities of fertilized *Pinus taeda* trees. *New Forests* (2019) No. 50. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-09702-9>
- Rognstad, O., Løvberget, A. I. & Steinset, T. A. (2016). Landbruket i Norge 2015: Jordbruk – Skogbruk – Jakt. *Statistiske analyser, 2016, 149*. Statistisk Sentralbyrå.
- Šilinskas, B., Varnagiryte-Kabašinskien, I., Aleinikovas, M., Beniušiene, L., Aleinikovien, J & Škema, M. (2020). Scots Pine and Norway Spruce Wood Properties at Sites with Different Stand Densities. *Forests*. Artikkel 11, 587. <https://doi.org/10.3390/f11050587>
- Skara, A., B., & Rundtom, T., J. (2020, 28. januar). *Rekordhøy tømmerhogst*. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/rekordhoy-tommerhogst>

- Skogstad, P. (Red.). (2009). *Treteknisk Håndbok*. Treteknisk
- SSB. (2021, 29. januar). Statistisk sentralbyrå. *Skogavvirkning for salg*. <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav>
- Standard Norge, 2019. *Structural timber — Determination of characteristic values of mechanical properties and density*. Norsk Standard NS-EN 384.
- Standard Norge, 2012. *Timber structures — structural timber and glued laminated timber— determination of some physical and mechanical properties*. Norsk Standard NS-EN 408.
- Sunding, P. (2020, 30. november). Furu. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/furu>
- Thaulow, C. (2018, 4. desember). Bøyefasthet. I *Store norske leksikon*. <https://snl.no/Boyefasthet>
- Tuovinen, M. (2005). Response of tree-ring width and density of *Pinus sylvestris* to climate beyond the continuous northern forest line in Finland. *Dendrochronologia*. Volume 22, Nr. 2. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2005.02.001>
- Vadla, K. (2008). Virkesegenskaper hos bartrevirke fra forskjellige lokaliteter i Nord-Norge: densitet, avsmaling, bark og kjerneved. *Forskning fra Skog og landskap*. Nr. 9/08
- Vestøl, G. I., Høibø, O., Lilleslett, S. & Myhre, H. (2004). Fysiske og mekaniske egenskaper til rundtømmer og firkant av furu fra høyereliggende skog. *Rapport fra skogforskningen: 6/04*
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. No. 17

- Zangh, S. Y. (1995). Effect of growth rate on wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct wood categories. *Wood Science and Technology*. No. 29
- Zhang, S. Y., Chauret, G., Swift, D. E. & Duchesne, I. (2006). Effects of precommercial thinning on tree growth and lumber quality in a jack pine stand in New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*. Volume 36. No. 4
- Zobel, B. J. & van Buijtenen, J. P. (1989). *Wood Variation: Its Causes and Control*. Springer-Verlag
- Øvrum, A. (2011). *Tresterk (Trelast med høyere styrke og stivhet)*. Treteknisk
- Øvrum, A. & Skaug, E. (2012). *Konstruksjonsvirke*. Fokus på tre, Nr. 43. Trefokus & Treteknisk



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway