



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2024 30 stp

Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Evaluering av konstruksjonsvirke av gran (*Picea abies* (L.) Karst) fra Nord-Norge

Evaluation of Norway spruce (*Picea abies* (L.)
Karst) structural timber from Northern Norway

Martin Næsset Hillestad

Skogfag

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min mastergrad i skogfag ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), ved fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA). Studieløpet har vært bredt og variert, men det har vært fagfeltet treteknologi som har fanget min interesse. Jeg er derfor veldig takknemlig for ha fått lov til å skrive min masteroppgave innenfor treteknologi.

Materialet til denne oppgaven ble samlet i forbindelse med et forprosjekt, så en takk rettes til alle som har bidratt til forprosjektet, og dermed gjort det mulig for meg å skrive denne oppgaven. En takk rettes til Gunnar Nygaard hos Statsforvalteren i Nordland, for organisering og deltakelse i feltarbeidet sør for Saltfjellet. En spesiell takk til Runa Stenhammer Aanerød hos Statsforvalteren i Nordland og Helge Molvig hos Statsforvalteren i Troms og Finnmark, som organiserte og finansierte transporten av trelasten til NMBU.

Arbeidet med oppgaven har vært tidvis krevende, men jeg har fått god hjelp fra mange på veien. Jeg ønsker å rette en stor takk til min hovedveileder Professor Doktor Geir Isak Vestøl for ideen bak oppgaven og uvurderlig hjelp med analyser, skriving og tankeprosesser. Takk til biveileder overingeniør Eirik Nordhagen for hjelp med testing av trelast, og takk til overingeniør Roar Økseter for all hjelp på lab.

Tusen takk til medstudenter som har bidratt til å gjøre studietiden minneverdig, på tross av noen år med COVID. Tusen takk til familie og venner for all hjelp og støtte under studietiden og med masteroppgaven. Til sist ønsker jeg å takke alle professorene i treteknologi ved NMBU for å ha delt sin kunnskap og lidenskap for dette fagområdet, og på den måten vekket min interesse for treteknologi.

Martin Næsset Hillestad,

Ås, 14.05.2024

Sammendrag

I Nord-Norge er det store volumer med gran (*Picea abies* (L.) Karst) som begynner å bli hogstmodne. De få undersøkelsene som finnes på gran som har vokst i Nord-Norge tyder på at densiteten og de mekaniske egenskapene i gran fra Nord-Norge er dårligere enn det som observeres i resten av landet. Dette kan være kritisk for om gran fra Nord-Norge er egnet som konstruksjonsvirke.

Hensikten med denne studien var å undersøke trelastkvalitet, densitet, e-modul og bøyefasthet til et utvalg trelast av gran fra Nord-Norge, og å vurdere om visuell styrkesortering etter Norsk Standard NS-INSTA 142 gir tilfredsstillende egenskaper. Densitet og mekaniske egenskaper ble sammenlignet med verdier fra Sør-Norge og tidligere studier fra Nord-Norge.

Et materiale bestående av 109 planker fra 12 trær av gran samlet inn fra 4 forsøksbestand i Nord-Norge ble visuelt styrkesortert etter NS-INSTA 142 og densitet, elastisitetsmodul (e-modul) og bøyefasthet ble testet i henhold til NS-EN 408. Karakteristiske verdier, beregnet etter NS-EN 384 og verifisert etter NS-EN 14358, ble sammenlignet med fasthetsklasser i NS-EN 338. Variasjon i densitet og mekaniske egenskaper ble undersøkt med lineære, miksede modeller der den tilfeldige variansen ble delt i trevariasjon og residualvariasjon. Variabler på planke- og stokknivå var faste effekter, og ble brukt som kovariabler i modellen.

Relativ høyde, beregnet som stokkens vertikale posisjon i forhold til total trehøyde, var den viktigste variabelen for densiteten og densiteten økte med økende relativ høyde. Variasjon i densitet mellom bestandene så ut til å sammenfalle med variasjon i klima, som et resultat av breddegrad og høyde over havet. Densiteten var en viktig variabel som beskrev variasjon i e-modul og bøyefasthet, som begge økte med økende densitet. Kvist påvirket både e-modul og bøyefasthet, og forskjeller i gjennomsnittlig diameter på kvist så ut til å forklare store deler av variasjonen i mekaniske egenskaper mellom bestand. Forskjellene i densitet, størrelse på kvist og mekaniske egenskaper på bestandsnivå så også ut til å være påvirket av skogbehandling. De gjennomsnittlige verdiene for densitet, e-modul og bøyefasthet var lavere enn det som observeres i Sør-Norge og i Trøndelag, men høyere enn det som tidligere har blitt funnet for nordnorsk gran.

Den visuelle sorteringen gav flest planker i T2, etterfulgt av T1, T3 og T0. De karakteristiske verdiene oppfylte kravene for alle sorteringsklassene, utenom densitet i T3 for C30 og bøyefasthet i T1 for C18. På grunn av det lave antallet i hver sorteringsklasse var usikkerheten rundt de karakteristiske verdiene stor. Til tross for det, oppfylte sorteringsklasse T2 og T2+T3 kravene til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet for C24.

Resultatene gir positive indikasjoner på densitet og mekaniske egenskaper i gran fra Nord-Norge, og egnetheten som konstruksjonsvirke. Studien baserer seg på et begrenset utvalg planker, fra et begrenset antall forsøksfelt, og dette gir stor usikkerhet i resultatene. Videre studier bør etterstrebe verdier som er representative for all skog i Nord-Norge.

Abstract

Large volumes of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Northern Norway are approaching maturity. Previous studies conducted on Norway spruce from Northern Norway, indicates lower density and mechanical properties than for Norway spruce grown in the rest of the country. This might be critical for use of Norway spruce from Northern Norway as structural timber.

The purpose of this study was to assess lumber quality, density, modulus of elasticity and modulus of rupture on a sample of Norway spruce from Northern Norway, and to evaluate whether visual strength grading results in sufficient properties. Density and mechanical properties were compared to values from Southern Norway, and previous studies from Northern Norway.

A sample consisting of 109 boards sawn from 12 trees of Norway spruce, collected from 4 trial stands in Northern Norway, was visually strength graded according to NS-INSTA 142, before density, modulus of elasticity and modulus of rupture was tested according to NS-EN 408. Characteristic values calculated according to NS-EN 384 and verified according to NS-EN 14358, were compared to the strength classes of NS-EN 338. Variation in density and mechanical properties were modelled with linear mixed models, where the random variance was separated into tree-variance and residual variance. Variables on board and log level were treated as fixed effects, and used as covariates in the models.

Relative height, calculated as each log's vertical position in relation to total tree height, was the most important variable for density. Density increased with increasing relative height. Density was important for modulus of elasticity and modulus of rupture, and both increased with increasing density. Variation in density between stands seems to be partly attributed to variation in latitude and altitude. Knots affected both modulus of elasticity and modulus of rupture, and differences in average knot diameter seems to coincide with differences in mechanical properties between stands. Differences in average knot diameter and mechanical properties between stands coincides with differences in silviculture. Mean values for density, modulus of elasticity and modulus of rupture were lower than what is observed in the Southern and middle parts of Norway, but higher than previous studies from Northern Norway.

The visual grading resulted in most boards sorted as grade T2, followed by T1, T3 and T0. The characteristic values met requirements for all sorting grades apart from density in T3 for C30, and modulus of rupture in T1 for C18. Low numbers resulted in large uncertainties concerning characteristic values. Despite this, sorting grades T2 and T2+T3 met all requirements for C24.

The results give positive indications for density, modulus of elasticity and modulus of rupture in Norway spruce from Northern Norway, and the properties as structural timber. The study is based on a limited sample of boards, collected from a limited number of trial stands, and this results in large uncertainties. Further studies are therefore needed, and should gain values more representative for the forest in Northern Norway.

Innhold

1. Innledning.....	1
1.1. Hensikt.....	5
2. Materiale og metoder.....	6
2.1. Områdebeskrivelse	6
2.1.1. Skogbehandling i feltforsøk	7
2.2. Feltarbeid.....	8
2.3. Labarbeid.....	9
2.3.1. Registreringer på plankene før testing.....	10
2.3.2. Testing av E-modul.....	11
2.3.3. Testing av bøyefasthet	12
2.3.4. Beregning av densitet	13
2.3.5. Beregning av fuktighet	14
2.4. Korrigering av testverdier i henhold til Norsk Standard NS-EN 384.....	14
2.4.1. Fuktkorrigering: Densitet	15
2.4.2. Fuktkorrigering: e-modul	15
2.4.3. Dimensjonskorrigering	15
2.5. Karakteristiske verdier.....	16
2.6. Statistiske analyser	18
3. Resultater.....	20
3.1. Densitet.....	21
3.1.1. Sammenhengen mellom årringbredde og densitet.....	23
3.2. E-modul.....	23
3.2.1. Sammenhengen mellom e-modul og densitet.....	25
3.3. Bøyefasthet.....	26
3.3.1. Sammenhengen mellom bøyefasthet og densitet.....	27
3.3.2. Sammenhengen mellom e-modul og bøyefasthet.....	28
3.3.3. Sammenhengen mellom bøyefasthet og kvistdiameter	28
3.4. NS-INSTA 142	30
3.5. Egenskaper til trelast fordelt på sorteringsklasser	31
3.5.1. Karakteristiske verdier.....	32
4. Diskusjon.....	33
4.1. Sammenligning med tidligere studier.....	34
4.2. Sammenligning med Nagodas resultater	35
4.3. Variasjon i densitet og mekaniske egenskaper	38

4.3.1.	Effekter av skogskjøtsel.....	43
4.4.	Visuell styrkesortering etter NS-INSTA 142.....	44
4.4.1.	Egenskaper til trelasten i sorteringsklasser i henhold til NS-INSTA 142.....	45
4.4.2.	Karakteristiske verdier.....	45
5.	Konklusjoner	47
6.	Referanser.....	49
7.	Vedlegg.....	52

1. Innledning

I Norge finner man naturlige forekomster av gran (*Picea abies* (L.) Karst) så langt nord som Saltfjellet. Granskogen man finner nord for dette, er i stor grad plantet som en del av norsk skogreising i etterkrigstiden (Nagoda, 1985). Mange av disse arealene som ble plantet til etter andre verdenskrig begynner i dag å bli hogstmodne. I 2023 ble det omsatt 227 000 m³ gran i Nordland, Troms og Finnmark (SSB, 2024). Beregninger viser imidlertid at det står omtrent 22,7 millioner m³ gran i Nordland, Troms og Finnmark, og av dette befinner 12,6 millioner m³ (56%) seg i hogstklasse IV og V (Hysten et al., 2023). Grana i Nord-Norge er derfor en stor ressurs som har potensiale til å utnyttes, men tidligere studier har gitt tvil om gran fra Nord-Norge har de samme egenskapene som gran fra resten av landet (Nagoda, 1985). Dette kan påvirke hva grantømmer fra Nord-Norge er egnet til.

Tømmer som avvirkes for industrielt formål blir hovedsakelig sortert til massevirke eller sagtømmer. Av de 8,09 millioner m³ med gran som ble avvirket i 2023 var 59% (4,8 mill. m³) sagtømmer (SSB, 2024). Sagtømmeret blir videreforedlet til trelast, som danner grunnlaget for en rekke ulike produkter. Konstruksjonsvirke er trelast som skal brukes i bærende konstruksjoner. Typiske bruksområder er bjelkelag, takbjelker, taksperrer og stendere (Øvrum & Skaug, 2012). For å være godkjent som konstruksjonsvirke kreves det dokumentasjon på at styrke, stivhet og densitet er tilstrekkelig (Byggteknisk forskrift, 2017). Kravene til konstruksjonsvirke er beskrevet i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) og har opphav i Plan og bygningsloven (2008) og Teknisk Forskrift til Plan og Bygningsloven kapittel 3 (2017). Styrkesortert trelast er derfor nødvendig når trekonstruksjoner prosjekteres etter Eurokode 5 (Øvrum & Skaug, 2012), og ifølge Norsk Trelastkontroll blir en betydelig del av den norske skurlasten styrkesortert (Forskningsrådet, u.å.).

Styrkesorteringen kan gjennomføres visuelt eller maskinelt, der maskinell sortering er det vanligste (Høibø et al., 2014; Øvrum et al., 2008). Dynagrade (Dynalyse, u.å.) er den mest brukte maskinen for maskinell styrkesortering i Norge (Høibø et al., 2014). Maskinen utnytter forholdet mellom dynamisk e-modul og densitet, for å estimere de mekaniske egenskapene til plankene. Maskinen slår med en hammer i enden av tørket trelast, og vibrasjonene fanges opp av mikrofoner. På denne måten måles laveste resonansfrekvens for hver enkelt planke. Sammen med lengden til planken beregnes en såkalt IP-verdi (Indicating Property) for hver planke. IP-verdien er korrelert med styrken (Hanhijärvi et al., 2005). Dersom densiteten også registreres, vil nøyaktigheten på IP-verdien og korrelasjonen med styrken økes (Ranta-Maunus et al., 2011).

Visuell styrkesortering gjennomføres i henhold til kravene i NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009). Den visuelle styrkesorteringen baserer seg på visuell bedømmelse av fasthetsreduserende egenskaper som kvist, fiberhelling, reaksjonsved, råte og sprekker opp mot gitte grenseverdier for hver egenskap i hver sorteringsklasse. Kvisten er den egenskapen som har størst innvirkning på sorteringen, og kravene til kvist baserer seg på sammenhengen mellom bøyefasthet og kvistdiameter (Hanhijärvi et al., 2005). Kvistdiameter alene forklarer imidlertid

bare en liten andel av variasjonen i bøyefastheten, og bøyefastheten er svært avhengig av densiteten (Hanhijärvi et al., 2005; Høibø, 1991b; Vestøl et al., 2012).

På bakgrunn av den visuelle bedømmelsen av de fasthetsreduserende egenskapene tildeles hver planke en sorteringsklasse T0, T1, T2 eller T3. Gjennom NS-EN 1912 (2012b) kan sorteringsklassene i NS-INSTA 142 tilordnes en fasthetsklasse ihht. NS-EN 338, henholdsvis C14, C18, C24 og C30. Fasthetsklassene beskrives med karakteristiske egenskaper, der det stilles krav til densitet, elastisitetsmodul (e-modul) og bøyefasthet (Tabell 1).

Tabell 1: Fasthetsklasser i NS-EN 338 med krav til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet og sorteringsklasse i NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2012b; Standard Norge, 2016a).

Karakteristiske egenskaper	Fasthetsklasser			
	C14	C18	C24	C30
Karakteristisk densitet (kg/m ³)	290	320	350	380
Karakteristisk e-modul (kN/mm ²)	7	9	11	12
Karakteristisk bøyefasthet (N/mm ²)	14	18	24	30
Sorteringsklasse NS-INSTA 142	T0	T1	T2	T3

I en studie fra 1985 testet Nagoda (1985) trelast av gran fra prøveflater fra Norsk Institutt for Skogforskning (NISK), en av forløperne til dagens NIBIO. På trelast fra prøvetrær fra regionene Helgeland, Salten og Troms testet Nagoda (1985) densitet, e-modul og bøyefasthet. Helgeland ligger sør for Saltfjellet, og er derfor innenfor granas naturlige utbredelsesområde, mens Salten og Troms ligger lenger nord og utenfor den naturlige utbredelsen. Studien fant lavere gjennomsnittlig densitet, e-modul og bøyefasthet på materialet fra Salten og Troms enn på Helgeland (Nagoda, 1985). Verdiene var også lavere enn det som er funnet for gran fra Sør-Norge og Trøndelag (Foslie & Moen, 1968).

Nagoda (1985) mente at forskjellen i e-modul og bøyefasthet mellom Sør- og Nord-Norge kom av forskjellene i densitet. Ved en gitt kvistdiameter vil bøyefastheten være lavere dersom densiteten er lavere (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012). Nagoda (1985) mente derfor at visuell styrkesortering ikke gav tilfredsstillende sortering for å oppfylle styrkekrav. Det ble påpekt at kriteriene som ligger til grunn for sorteringen ikke var egnet for trelasten fra Nord-Norge, og at virkesfeilene som vurderes i visuell styrkesortering måtte evalueres for å gi tilfredsstillende resultat. I en undersøkelse fra 1991 undersøkte Eikenes (1991) mekaniske egenskaper i gran fra Vestlandet. Virket i undersøkelsen hadde lav densitet og store årringbredder, og visuell sortering, som i hovedsak fokuserte på kvister, gav problemer med for lav styrke. Eikenes (1991) kom derfor fram til at den visuelle sorteringen måtte tillegges krav til årringbredde for å gi tilfredsstillende resultat, og unngå problemer med for lav densitet.

Densitet er en viktig egenskap i seg selv (Standard Norge, 2016a), men har også effekt på mekaniske egenskaper, krymping, svelling og brennverdi (Kollmann & Côté, 1968). På grunn av effekten på andre egenskaper er densiteten den egenskapen som har blitt forsket mest på. Densiteten påvirkes av genetikk og fysiologiske faktorer. Disse faktorene interagerer sammen med klima, miljø og påvirkes av skogskjøtsel. Dette skaper en stor variasjon i densitet mellom bestand, mellom trær fra samme bestand, i treets høyde og tverrsnitt (Høibø, 1991b; Kollmann & Côté, 1968; Vestøl et al., 2012; Vestøl et al., 2016).

Densiteten varierer også mellom årringer, og i bartrær er det en negativ korrelasjon mellom årringbredde og densitet (Kollmann & Côté, 1968; Nylinder & Hägglund, 1954). Forskjellene i densitet innad og mellom årringer kommer av forskjeller i densitet mellom tidligved og seinved. Cellene i tidligveden har større cellelumen og tynnere cellevegg enn cellene i seinveden. Når årringbredden øker, øker mengden tidligved mer enn mengden seinved. Dermed øker andelen tidligved og densiteten reduseres. De fleste faktorer som fører til økt vekst vil påvirke densiteten negativt gjennom effekten på årringbredde, med unntak av klima (Kollmann & Côté, 1968; Nylinder & Hägglund, 1954; Wilhelmsson et al., 2002).

Densiteten avtar med økende høyde over havet (Kollmann & Côté, 1968; Vestøl et al., 2016; Wilhelmsson, 2001). Årsaken er at temperaturen avtar med økende høyde over havet. Lavere temperaturer på voksestedet gir lavere densitet ved en gitt årringbredde. Det samme gjelder breddegrad, der en økning i breddegrad også vil redusere densitet. En økning i temperatur eller breddegrad vil derfor gi en økning i densitet hvis diametertilveksten er den samme (Wilhelmsson, 2001). Denne sammenhengen gjelder for både gran og furu (Wilhelmsson et al., 2002). Etersom både e-modul og bøyefasthet er korrelert med densitet, vil en økning i høyde over havet og breddegrad i utgangspunktet bety lavere e-modul og bøyefasthet (Høibø, 1991b; Kollmann & Côté, 1968; Vestøl et al., 2012; Vestøl et al., 2016). I en svensk undersøkelse av styrkesortert trelast fra forskjellige regioner i Sverige, ble det funnet at tømmer fra høytliggende fjellområder i sørlige deler av Lappland hadde lavere mekaniske egenskaper enn tømmer fra sørlige deler av Sverige (Chrestin, 2000).

Det er i flere studier observert at de første 5-25 årringene nærmest margen i gran har egenskaper som skiller seg fra årringene som befinner seg lenger fra margen (Kucera, 1994; Larson, 1969; Lindström, 2002). Denne delen av veden kalles «ungdomsved», selv om veden med disse egenskapene dannes nærmest margen i alle høyder i stammen. Ungdomsveden har blant annet lavere styrkeegenskaper, større innhold av lignin og hemicellulose, og større vinkel på mikrofibrillene i S2-laget. Større vinkel på fibrillene i S2-laget i celleveggen gir større krymping og svelling i lengderetningen enn veden som dannes senere. Densiteten i ungdomsveden i gran er veldig høy i de første årringene, før den avtar hurtig og når et bunnpunkt (Kucera, 1994). Alderen ved bunnpunktet varierer, og det er ulike teorier knyttet til hvilke faktorer som fører til overgangen til vanlig ved. (Kucera, 1994; Larson, 1969; Lindström, 2002). Videre utover i tverrsnittet øker densiteten i gran med økende alder, og denne trenden er knyttet til en økning i andelen seinved gjennom en reduksjon i årringbredden (Kollmann &

Côté, 1968). Den høyeste densiteten befinner seg i yteved med smale årringer (Jyske et al., 2008; Kollmann & Côté, 1968; Kucera, 1994).

Hos gran er det ikke funnet noen entydig trend i hvordan densitet varierer med høyden i trærne. Nylinder og Hägglund (1954) og Kucera (1994) fant at densiteten økte med økende høyde i stammen, mens Olesen (1982) fant at densiteten avtok med økende høyde. Repola (2006) fant at densiteten i gran var relativt konstant, men avtok med økende høyde før den økte mot toppen. Høibø et al. (2014) fant en reduksjon i densitet med økende høyde, som var størst på den laveste boniteten, og mindre på den midlere boniteten. På den høyeste boniteten økte densiteten med økende høyde i treet (Høibø et al., 2014). Dette stemmer overens med funnene til Kucera (1994), som også undersøkte bestand på høye boniteter. Densitetsvariasjonen med høyde i stammene er funnet å være større i små trær og på lavere boniter (Høibø et al., 2014).

Kvist er en viktig faktor som påvirker de mekaniske egenskapene til trelast, og det er den faktoren som i størst grad fører til nedklassing ved visuell styrkesortering etter NS- INSTA 142 (Øvrum et al., 2008). Kvister skaper fiberforstyrrelser, og reduserer derfor både e-modul og bøyefasthet (Høibø, 1991b; Kollmann & Côté, 1968; Vestøl et al., 2012). Både størrelse på kvist og antall kvister er derfor viktig for de mekaniske egenskapene. Diameteren på kvisten øker med økende høyde i treet, før den avtar mot toppen (Colin & Houllier, 1991; Høibø, 1991b; Vestøl & Høibø, 2001; Øvrum et al., 2008). Diameteren på kvisten er tett knyttet til hvor lenge greinene lever, noe som påvirkes av konkurranse om lys. I et bestand med lav tetthet vil kvistene leve lenger og dermed få større diameter. I tillegg vil det finnes levende kvister lenger ned på stammen enn det hadde gjort dersom tettheten i bestandet var høyere (Colin & Houllier, 1991). Variasjon i kvistdiameter mellom trær er knyttet til diameterveksten til stammen, og i ensaldrede bestand vil trær med større diameter ha større diameter på kvist (Høibø, 1991b; Vestøl & Høibø, 2001). For visuell sortering av trelast som skal tilfredsstille estetiske krav skiller det på tørre og friske kvister (Anonym, 2020). NS-INSTA 142 skiller imidlertid ikke på frisk og tørr kvist (Standard Norge, 2009).

Nagoda (1985) fant at trelasten fra Nord-Norge hadde lavere bøyefasthet enn trelasten fra Sør-Norge ved samme densitet. Dette kan tyde på at det er andre faktorer enn bare densitet som skaper forskjellene mellom bøyefastheten i trelast fra Nord- og Sør-Norge. I et forprosjekt ble det gjennomført simuleringer av densitet, e-modul og bøyefasthet med enkeltremodeller fra Vestøl et al. (2020) anvendt på dataene fra Nagoda (1985) (Vestøl, 2022). Simuleringene overvurderte e-modul og bøyefasthet, men undervurderte densiteten. Forskjellene var større i feltene nord for Saltfjellet enn sør for Saltfjellet. Det lave antallet planker i undersøkelsen til Nagoda (1985) gjorde at tilfeldige effekter ga store utslag på verdiene i simuleringene, og viser at det kan knyttes usikkerhet til middelverdiene Nagoda (1985) presenterte. Funnene støtter likevel hypotesen om at det er andre faktorer som påvirker sammenhengen mellom densitet og bøyefasthet i granen fra Nord-Norge (Vestøl, 2022).

I et forprosjekt med navn «Gran i nord» undersøkte Vestøl og Høibø (2022) densitet og fiberlengde i årringseksjoner fra gran i Nord-Norge. Deler av dataene fra forprosjektet er hentet fra noen av de samme bestandene som Nagoda (1985) brukte i sin undersøkelse. Resultatene fra forprosjektet viste en variasjon i årringbredde og densitet knyttet til variasjon i klima, og at densiteten og årringbredden avtok utover i trærnes tverrsnitt. I tillegg fant de at fiberlengden var lengre i de ytterste årringene enn i årringer nærmere marg (Vestøl & Høibø, 2022). Dette stemmer med tidligere forskning som har vist at økt alder gir en økning i fiberlengden hos gran (Kucera, 1994; Nylinder & Hägglund, 1954). I tillegg så de antydninger til at fiberlengden økte med temperatursum (Vestøl & Høibø, 2022).

Alder gir også flere effekter som kan påvirke de mekaniske egenskapene positivt, utover effekten av alder på årringbredde (Shmulsky & Jones, 2019). Når alderen øker, øker også diameteren til trærne. Større diameter vil gi større andel yteplanker ved tradisjonell firskur, og økningen i fiberlengde vil ha størst effekt på yteplankene. I yteplanker vil det også være mindre andel av veden som har fiberforstyrrelser, da kvistene utgjør en mindre del av plankenes flat- eller kantside. Tømmer med større toppdiameter vil også skjæres til større plankedimensjoner, hvor det etter NS-INSTA 142 tillates større kvistdiameter (Standard Norge, 2009). Derfor vil man forvente at økt alder vil bidra positivt til de mekaniske egenskapene, og at dette kan bidra til at trelast av gran fra Nord-Norge i dag kan ha bedre egenskaper enn Nagoda (1985) fant.

1.1. Hensikt

Tvilen om å bruke konstruksjonsvirke av gran fra Nord-Norge ligger likevel i om densiteten i veden er for lav, som et resultat av kaldt klima (Wilhelmsson, 2001), og at det kan være kritisk for de mekaniske egenskapene (Foslie & Moen, 1968; Nagoda, 1985). Da Nagoda (1985) foretok sine undersøkelser var bestandene relativt unge, og det er en hypotese at styrkeegenskapene har blitt bedre med økende alder, da man har observert at økt alder har positiv effekt på egenskapene til konstruksjonsvirke på Østlandet (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2020). Data fra forprosjektet tyder på at den økte alderen har ført til en økning i densitet og fiberlengde (Vestøl & Høibø, 2022). Dette kan påvirke de mekaniske egenskapene positivt, og det er behov for nye undersøkelser.

Hensikten med denne studien er å:

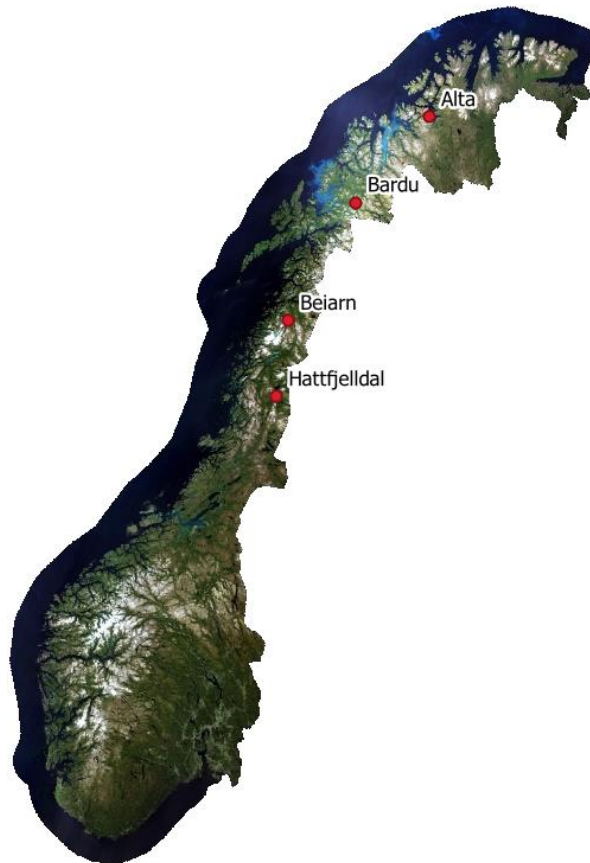
- Å undersøke densitet, e-modul, bøyefasthet og trelastkvalitet til et utvalg av trelast av gran fra forsøksflater i Nord-Norge, og sammenligne densitet, e-modul og bøyefasthet med verdier fra Sør- og Nord-Norge.
- Undersøke om egenskapene har blitt bedre enn det Nagoda (1985) fant for 40 år siden.
- Vurdere om visuell styrkesortering av konstruksjonsvirke fra Nord-Norge oppfyller kravene til bøyefasthet, e-modul og densitet i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a).

2. Materiale og metoder

2.1. Områdebeskrivelse

Materialet ble hentet inn fra 4 ulike bestand i Nord-Norge (Figur 1). Alle bestandene er langsiktige feltforsøk med gran driftet fra Norsk Institutt for Bioøkonomi (NIBIO). Ett av feltene var i Finnmark, ett i Troms og to var i Nordland. En oversikt over bestandsdata og geografiske data for hvert bestand er vist i tabell 2. Felt 595 i Bardu, 614 i Beiarn og 622 i Hattfjelldal ble også brukt i undersøkelsen til Nagoda (1985).

Bestandene skulle representere variasjon i bonitet, høyde over havet og alder, samt inneholde bestand både sør og nord for Saltfjellet. Boniteten, definert som overhøyde ved 40 års alder (Tveite, 1977), varierte fra 8 til 16 m og høyden over havet varierte fra 90 til 240 m. Total bestandsalder varierte fra 90 til 170 år.



Figur 1: Forsøksfeltenes beliggenhet. Figuren er laget med QGIS (QGIS Development team, 2020).

Tabell 2: Geografiske data og bestandsdata for prøvefelt. Fra: Vestøl og Høibo (2022).

Treslag	Fylke	Kommune	NIBIOs Felt nr.	HOH (m)	Lengdegrad (grader øst)	Breddegrad (grader nord)	Bonitet	Totalalder
Gran	Troms og Finnmark	Alta	0706	90	22,92439	70,03496	G8	114
		Bardu	0595	135	18,54349	68,8176	G16	105
	Nordland	Beiarn	0614	100	14,7877	66,9221	G16	90
		Hattfjelldal	0622	240	14,00602	65,52056	G12	170

2.1.1. Skogbehandling i feltforsøk

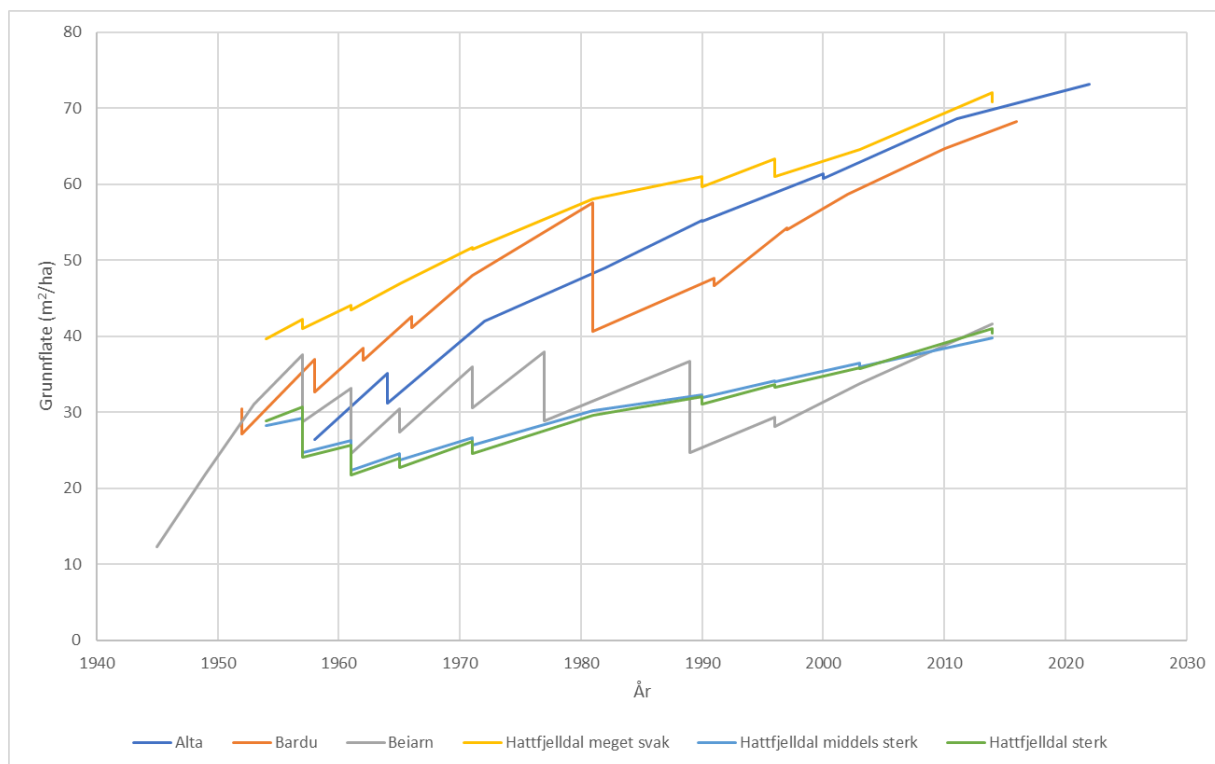
Informasjon om skogbehandlingen i de langsiktige feltforsøkene har blitt fremskaffet av NIBIO (2024) i etterkant av utvelgelsen av bestandene. Skogbehandlingen varierer mellom de ulike bestandene (Figur 2), men ble ikke lagt til grunn ved utvelgelse av bestandene.

Forsøksfeltet i Alta har én tydelig reduksjon i grunnflate som stammer fra en tynning, men har fått utvikle seg fritt etter dette (NIBIO, 2024). De små reduksjonene som følger er trolig selvtynning.

I forsøksfeltet i Bardu har det blitt gjennomført to betydelige reduksjoner i grunnflate fra tynninger (Figur 2). Det ble gjennomført en relativt kraftig tynning rundt 1981, der det ble tatt ut omtrent 30% av grunnflaten per hektar. Middeldiameteren på uttaket var mindre enn middeldiameteren i bestandet (NIBIO, 2024). De øvrige små reduksjonene er trolig selvtynning.

Forsøksfeltet i Beiarn har flere reduksjoner i grunnflate fra gjentatte tynninger med uttak i grunnflate mellom 4 og 33% (Figur 2). I de tre siste tynningene med uttak på henholdsvis 24, 33 og 4% av grunnflaten, var middeldiameteren på uttaket tilnærmet lik og større enn middeldiameteren i bestandet. I de foregående uttakene var middeldiameteren på uttaket mindre enn middeldiameteren på gjenstående trær (NIBIO, 2024).

Forsøksfeltet i Hattfjelldal har testet tre ulike tynninger (Figur 2), og det har ikke lyktes å identifisere hvilket eller hvilke av tynningsintensitetene som ble gjennomført der prøvetrærne ble tatt ut. Den meget svake tynningen har flere små uttak, der det største uttaket var et uttak i grunnflate på 4%. Den middels sterke og den sterke tynningen har begge kraftige tynninger rundt 1960. Den middels sterke tynningen har to uttak på omtrent 15% av grunnflaten, mens den sterke har ett uttak på omtrent 21% og deretter et på 16% (NIBIO, 2024). Uttakene blir deretter svært små og det kan derfor tenkes at dette bare er selvtynning. Middeldiameterne i uttakene for alle tre intensitetene er mindre enn middeldiameterne på de gjenstående trærne (NIBIO, 2024).



Figur 2: Utvikling i grunnflate (m^2/ha) for forsøksfeltene (NIBIO, 2024).

2.2. Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført sommeren 2022 i forbindelse med forprosjektet. I hvert bestand ble det valgt ut et område der diameter i brysthøyde (dbh) ble målt på alle trær. Alle trær med $dbh > 17$ cm ble stratifisert i tre klasser ut fra diameter, med like mange trær i hver klasse. Ett tre fra hver klasse ble valgt ut tilfeldig, men trær med synlige skader eller virkesfeil som ikke tillates i virkesreglementet for sagtømmer, slik som råte og toppbrekk, ble forsøkt unngått (Vestøl & Høibø, 2022). Det ble tatt ut tre prøvetrær per bestand, og til sammen ble det valgt ut 12 prøvetrær.

Før trærne ble felt, ble største og minste dbh utenpå bark (mm) målt med klave. En barkmåler ble brukt til å måle barktykkelse i brysthøyde (mm). Kronevidde mot nord, sør, øst og vest ble målt med digital avstandsmåler (cm), som avstanden fra spissen av grein inn til stammen. Grunnflatesum (m^2/ha) ved hvert prøvetre ble målt med relaskop (Vestøl & Høibø, 2022).

Prøvetrærne ble deretter felt, og ulike mål på kronehøyden og total trehøyde (cm) ble målt som avstander fra rotavskjær. Det ble målt høyde til nederste tørre grein (cm), høyde til nederste grønne grein (cm) og kronehøyde etter landsskogtakseringens definisjon (cm), definert som «nederste grønne grein som ikke er adskilt fra øvrig krone med 3 eller flere døde kvistkranser» (Viken, 2021. s.46). Det ble også målt høyde til 180 grader grønn krone (cm) og høyde til 360 grader grønn krone (cm) (Vestøl & Høibø, 2022).

Fra hvert prøvetre ble det tatt ut en 5-6 cm tykk stammeskive i brysthøyde. Brysthøyde ble definert som 110 cm fra rotavskjæret (Vestøl & Høibø, 2022). Stammeskivene fra brysthøyde ble brukt til registrering av alder i forbindelse med forprosjektet. Stammeskivene ble delt opp i seksjoner ut i fra avstand fra marg. Seksjonene var henholdsvis 6-10 årringer fra marg, 21-25 årringer fra marg og de omtrent 10 ytterste årringene. I hver seksjon ble det målt årringbredde, densitet og fiberlengde (Vestøl & Høibø, 2022).

Videre oppover stammen ble det kappet ut stokker med lengde som var avhengig av toppdiameter. Lengdene på stokkene var tilpasset planlagt skuruttak og krav til lengde på trelast som skal testes i henhold til Norsk standard NS-EN 408 (2012a). Stokker med toppdiameter opp til 20 cm utenpå bark ble derfor kappet 3 m lange. Stokker med toppdiameter mellom 20 cm og 30 cm ble kappet 3,6 m lange og stokker med over 30 cm toppdiameter utenpå bark ble kappet 4,2 m lange (Vestøl & Høibø, 2022). Totalt ble det tatt ut 44 stokker.

Videre ble stokkene transportert til sagbruk i nærheten av bestandene og skåret planker av. Plankene som ble tatt ut hadde nominelle dimensjoner 50×100, 50×150 eller 50×200 mm. Stokker med toppdiameter under 20 cm ble skåret til 50×100 mm, stokker med toppdiameter mellom 20 og 30 cm ble skåret til 50×150 mm og stokker med toppdiameter over 30 cm ble skåret til 50×200 mm (Vestøl & Høibø, 2022). Plankene ble så merket med trenummer og stokknummer for å identifisere dem. Antallet planker varierte mellom bestand, og i analysene inngår totalt 109 planker (Tabell 3). Plankene ble strølagt i friluft på de ulike sagbrukene, før de ble transportert til kondisjonering i Trelaboratorie på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) sommeren 2023.

Tabell 3: Antall planker per bestand fordelt på stokknummer.

Bestand	Antall planker					
	Stokk 1	Stokk 2	Stokk 3	Stokk 4	Stokk 5	Total
Alta	8	8	3			19
Bardu	10	10	7	7	2	36
Beiarn	9	8	4	4		25
Hattfjelldal	9	8	5	5	2	29
Total	36	34	19	16	4	109

2.3. Labarbeid

Trelasten ble testet i henhold til NS-EN 408 (Standard Norge, 2012a). Ved ankomst på trelaboratorie på NMBU ble plankene registrert og strølagt, i et standard testklima med 20 grader celsius og 65% relativ luftfuktighet. Dette klimaet gir en likevektsfuktighet i trevirket på 12% (Standard Norge, 2012a). Plankene lå til kondisjonering fra 15. juni til 22. september 2023. Testene ble ikke gjennomført før plankene var kondisjonert, og plankene ble regnet som kondisjonert når endringen i massen var mindre enn 0,1% per 6 timer (Standard Norge, 2012a). Kondisjoneringen ble målt på et utvalg bestående av 11 planker med ulik dimensjon og fra ulike bestand, med daglige målinger over en periode på omtrent én uke.

2.3.1. Registreringer på plankene før testing

Ved testing ble først plankens lengde målt med målebånd, og hver planke ble kategorisert som yteplank eller margplank. På bakgrunn av visuell vurdering av kvist og eventuelle gankvister ble det antatt svakeste punktet på hver planke funnet. Et område tilsvarende summen av hele lengden mellom belastningspunktene og halve avstanden mellom belastnings- og opplagringspunkt (12h) ble målt opp med senter i det svakeste punktet. Avstand fra enden av planken som vendte mot toppen av treet til senteret i måleområdet ble registrert med målebånd. Plankenes bredde og høyde ble registrert med skyvelære vinkelrett på plankenes lengderetning på begge kanter av tverrsnittet. Innenfor måleområdet ble diameteren på den største flatsidekvisten, kantsidekvisten og kvistgruppen målt med skyvelære ihht. NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009). Eventuelle andre fasthetsreduserende egenskaper som gankvist innenfor dette området ble også registrert. Gjennomsnittlig årringbredde ble beregnet for hver planke med formel 1 ihht. NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009):

$$\text{Åb} = \frac{l}{n}$$

Formel 1

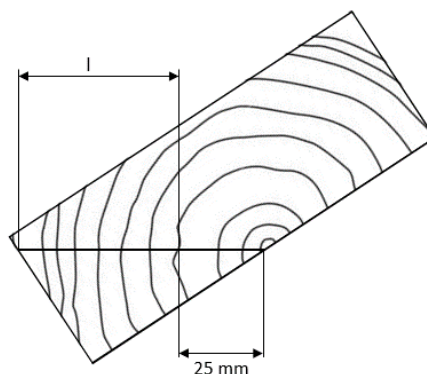
Der

Åb = gjennomsnittlig årringbredde (mm)

l = lengde på måleområdet (mm)

n = antall årringer

Oppsettet for registrering av måleområdet for årringbredde er vist i figur 3. Lengden l ble målt vinkelrett på årringene i forhold til margen, og de innerste 25 mm fra marg ble utelatt. På planker uten marg ble margens posisjon estimert, og avstand fra marg ble deretter målt ut ifra den estimerte posisjonen.

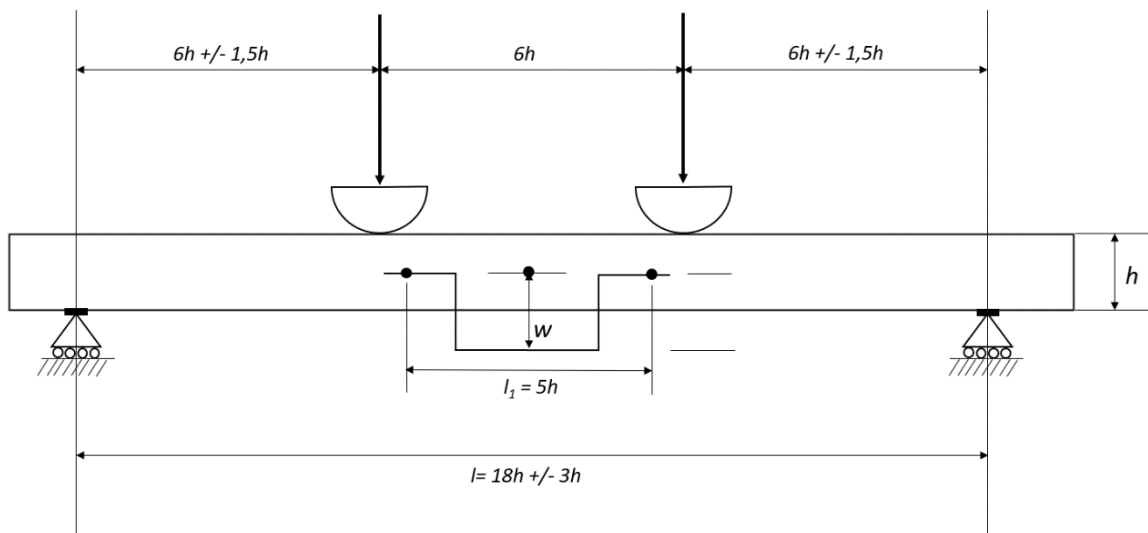


Figur 3: Oppsett for måling av årringbredde i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009).

På bakgrunn av sammenligning av diameteren på kantsidekvist, flatsidekvist, kvistgruppe, årringbredde og eventuelle gankvister med grenseverdier for hver sorteringsklasse, ble hver plank tildelt en sorteringsklasse i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009).

2.3.2. Testing av E-modul

Testing av e-modul ble gjennomført i henhold til NS-EN 408 (Standard Norge, 2012a). Plankene ble plassert i en Zwick Roell 1200 statisk testmaskin med firepunkts belastning (Figur 4). Avstanden mellom opplagringspunktene var 18 ganger nominell høyde, med unntak av 5 stk 50×200 mm som var for korte til dette og ble testet med en avstand mellom opplagringspunktene på 3300 mm (16,5h) (Tabell 4). Den lokale deformasjonen ble målt over et område som tilsvarer 5 ganger nominell høyde. Avstanden mellom belastningspunktene var 6 ganger nominell høyde (Standard Norge, 2012a).



Figur 4: Testoppsett for testing av lokal e-modul og bøyefasthet ihht. EN 408 (Standard Norge, 2012a).

Testene ble styrt med TestXpert III dataprogram fra Zwick Roell (Zwick Roell GmbH & Co. KG, u.å.). Alle plankene ble plassert med margsiden mot øst og toppenden mot nord, for å jevne ut eventuelle kvalitetsforskjeller mellom trykk- og strekksiden. Det ble brukt to Heidenhain MT 1287 deformasjonsmålere for registrering av lokal nedbøying, én på hver side av planken.

For registrering av deformasjon for beregning av e-modul skulle lasten være mellom 10-40% av antatt nedre bruddlast. Lasten ble påført med konstant hastighet, og denne skulle ikke overstige $0,003 \cdot h$ m/s. En oversikt over hastigheter og laster er vist i tabell 4. Lasten ble påført i tre sykluser, og testprogrammet utførte regresjonsanalyser mellom last og deformasjon, og estimerte k-verdien som stigningstallet til kurven (Formel 2). Den lokale e-modulen ble beregnet som gjennomsnittet av de to siste syklusene for begge de lokale deformasjonsmålerne, og gjennomsnittet av disse igjen ble brukt i beregningen av e-modul (Formel 2).

Tabell 4: Belastning, hastighet for lastpåføring og målegrenser ved testing av e-modul.

Dimensjon (mm)	Lastsyklus		Målesyklus		Hastighet (mm/min)
	Nedre grense (N)	Øvre grense (N)	Nedre grense (N)	Øvre grense (N)	
50 × 100	450	1550	500	1500	5
50 × 150	500	2800	750	2500	10
50 × 200	500	3800	1000	3300	15
50 × 200*	714	4070	1114	3770	13

*50 × 200 test med 3300 mm mellom opplagringspunkt.

Lokal e-modul ble beregnet med følgende formel fra NS-EN 408 (Standard Norge, 2012a):

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

Der

a = avstand mellom belastningspunkt og opplagringspunkt (mm)

b = bredden på planketverrsnittet (mm)

$E_{m,l}$ = lokal e-modul (N/mm²)

h = høyden på planketverrsnittet (mm)

$$I = \frac{bh^3}{12} \text{ (mm}^4\text{)}$$

l = avstand mellom belastningspunkter (mm)

l_1 = avstand mellom ankerpunktene for deformasjonsmålerne (mm)

$\frac{F_2 - F_1}{w_2 - w_1}$ = k-verdi, der $F_2 - F_1$ er økning i last og $w_2 - w_1$ er økning i deformasjon tilsvarende $F_2 - F_1$

2.3.3. Testing av bøyefasthet

Bøyefasthet ble testet med samme oppsett som for e-modul (Figur 4). Holderne med de lokale deformasjonsmålerne ble fjernet og prøven ble kjørt til brudd. Hastigheten var tilpasset dimensjon og avstand mellom opplagringspunkt (Tabell 5). Hastigheten ble satt slik at brudd skulle opptre innen 300 +/- 120 sekunder (Standard Norge, 2012a).

Tabell 5: Hastigheter ved testing av bøyefasthet fordelt på dimensjoner.

Dimensjon (mm)	Hastighet (mm/min)
50 × 100	5
50 × 150	15
50 × 200	20
50 × 200*	17

*50 × 200 testet med 3300 mm mellom opplagringspunkt.

Bøyefastheten ble regnet ut med følgende formel fra NS-EN 408 (Standard Norge, 2012a):

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

Formel 3

Der

a = avstand fra opplagringspunkt til belastningspunkt (mm)

b = bredden på planketverrsnittet (mm)

F = last (N)

f_m = bøyefasthet (N/mm²)

h = høyden på planketverrsnittet (mm)

2.3.4. Beregning av densitet

Så nære bruddet som mulig ble det tatt ut en omtrent 5 cm lang bit av planken, med helt tverrsnitt og uten virkesfeil. Massen til biten ble målt med vekt, og volum ble målt med å måle oppdriften når prøven ble neddykket i vann.

Densiteten til planken ble deretter regnet ut med følgende formel:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}$$

Formel 4

Der

ρ_w = densitet ved testing (kg/m³)

m_w = massen til prøven med fuktighet ved testing (kg)

V_w = Volumet til prøven med fuktighet ved testing (m³)

2.3.5. Beregning av fuktighet

Prøven ble deretter lagt i tørkeskap ved 103 grader celsius i 48 timer eller til vekten ikke lenger endret seg. Masse ble så registrert på nytt med vekt. Fuktigheten kunne da beregnes med følgende formel:

$$W_{\%} = \frac{m_w - m_0}{m_0}$$

Formel 5

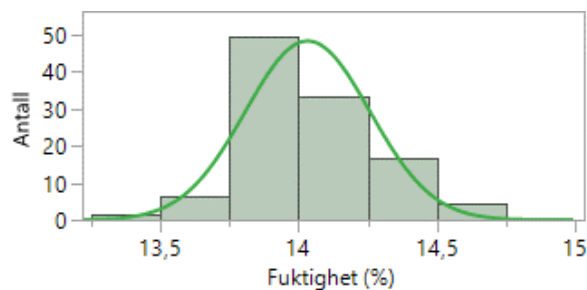
Der

m_w = massen til prøven ved testing (g)

m_0 = massen til prøven etter tørking (g)

$W_{\%}$ = fuktighet (%)

Fuktigheten i plankene varierte mellom 13,4 % og 14,8%, med en gjennomsnittlig fuktighet på 14,0% (Figur 5).



Figur 5: Fordeling av fuktighet med tilpasset normalfordelingskurve.

2.4. Korrigering av testverdier i henhold til Norsk Standard NS-EN 384

Testverdiene for densitet, e-modul og bøyefasthet beregnet etter NS-EN 408 skal korrigeres etter NS-EN 384 for hver enkelt planke (Standard Norge, 2022). Densitet og e-modul skal korrigeres for fuktighet som avviker fra referansecfuktigheten på 12%. Det er tillatt å korrigere densiteten og e-modulen dersom fuktigheten er mellom 8 og 18% (Standard Norge, 2022). Fuktigheten i alle plankene var innenfor dette intervallet (Figur 5), og dette viser at materialet var tilfredsstillende kondisjonert.

Bøyefastheten skal ikke korrigeres for fuktighet, men skal korrigeres for dimensjon og testlengde. For planker med bredde mindre enn 150 mm, skal bøyefastheten korrigeres til 150 mm. Dersom lengden mellom opplagringspunktene ved testing avviker fra 18h, men fremdeles er innenfor grensene i NS-EN 408 (Standard Norge, 2012a) (Figur 4), skal bøyefastheten korrigeres for å ta hensyn til endringen i moment mellom opplagrings- og belastningspunkt (Standard Norge, 2022).

2.4.1. Fuktkorrigerings: Densitet

Densiteten til hver planke ble korrigeret til 12% fuktighet med 0,5% korreksjon i densitet per prosentvist avvik i fuktighet med følgende formel fra NS-EN 384 (Standard Norge, 2022):

$$\rho_{12} = \rho_w * (1 - 0,005 * (W - 12))$$

Formel 6

Der

ρ_{12} = densitet justert til 12% fuktighet (kg/m³)

ρ_w = densiteten ved testing (kg/m³)

W = fuktighet (%)

2.4.2. Fuktkorrigerings: e-modul

E-modul for hver planke ble korrigeret til 12% fuktighet med 1% korreksjon i e-modul per prosentvist avvik i fuktighet med følgende formel fra NS-EN 384 (Standard Norge, 2022):

$$E_0 = E_{u,0}(1 + 0,01(w - 12))$$

Formel 7

Der

E_0 = e-modul justert til 12% fuktighet (kN/mm²)

$E_{u,0}$ = e-modul ved testing (kN/mm²)

w = fuktighet (%)

2.4.3. Dimensjonskorrigering

Ettersom det er høyere sannsynlighet for at det er virkesfeil i planker av større dimensjoner, ble bøyefastheten til plankene med tverrsnitt 50×100 mm dimensjonskorrigert til 50×150 mm med følgende formel fra NS EN 384 (Standard Norge, 2022):

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

Formel 8

Der

h = høyde på trelasten (mm)

For de 5 plankene som var 50×200 mm og ble testet med 3300 mm mellom opplagringspunktene, fordi de var for korte til å testes med 18h mellom opplagringspunktene, ble bøyefastheten korrigeret ved å dele på faktoren k_l beregnet med følgende formel fra NS-EN 384 (Standard Norge, 2022):

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

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

Formel 9

Der

h = høyde på trelasten (mm)

l_{et} = effektiv test-lengde (mm)

l = avstand mellom opplagringspunkt (mm)

a_f = avstand mellom belastningspunkter (mm)

a_f og l er verdier tatt fra testen

2.5. Karakteristiske verdier

Basert på testverdiene for hver planke beregnet i henhold til NS-EN 384, ble de karakteristiske verdiene for plankene i hver NS-INSTA142-sorteringsklasse verifisert i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016a). I henhold til NS-INSTA-142 (Standard Norge, 2009) ble det også gjennomført verifisering av de karakteristiske verdiene der sorteringsklasse T2 og T3 ble slått sammen til klassen T2+T3. Standarden beskriver at beregningene skal ta utgangspunkt i at bøyefasthet er fordelt med en lognormalfordeling, dersom ikke undersøkelser viser at andre fordelinger er mer korrekte. «Goodness of fit» ble testet med Shapiro-Wilks test i JMP, versjon 16.0 (SAS Institute Inc, 2021) på fordelingen av bøyefasthet for å avgjøre om de karakteristiske verdiene skulle beregnes med utgangspunkt i en normalfordeling eller en lognormal fordeling. Shapiro-Wilk ($p=0,3850$) og Anderson-Darling ($p=0,6136$) test viste at bøyefastheten var normalfordelt. Det ble derfor besluttet å beregne de karakteristiske verdiene for bøyefasthet med den parametriske metoden med formler basert på normalfordeling. I henhold til NS-EN 14358 skal de karakteristiske verdiene for densitet og e-modul også beregnes med formler basert på normalfordeling (Standard Norge, 2016b).

Under forutsetning om normalfordelte data ble gjennomsnittsverdier for densitet, e-modul og bøyefasthet ble beregnet med følgende formel fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i$$

Formel 10

Der

m_i = testverdi for hver planke (kg/m^3 , kN/mm^2 , N/mm^2)

n = antall planker

\bar{y} = gjennomsnittsverdi for egenskap (kg/m^3 , kN/mm^2 , N/mm^2)

Standardavvik for densitet, e-modul og bøyefasthet ble beregnet med følgende formel fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$$s_y = \max \left\{ \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{y})^2}, 0,05\bar{y} \right. \quad \text{Formel 11}$$

Der

m_i = testverdi for hver planke (kg/m³, kN/mm², N/mm²)

n = antall planker

\bar{y} = gjennomsnittsverdi for egenskap (kg/m³, kN/mm², N/mm²)

Den karakteristiske gjennomsnittsverdien, beregnet som nedre grense for et ensidig, 75% konfidensintervall, ble beregnet for e-modul med følgende formel fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$$m_{mean} = \bar{y} - k_s(n)s_y \quad \text{Formel 12}$$

Der

\bar{y} = gjennomsnittsverdi for e-modul fra formel 10 (kN/mm²)

s_y = standardavvik for e-modul fra formel 11 (kN/mm²)

$k_s(n)$ ble beregnet med følgende formel fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$$k_s(n) = \frac{t_{\alpha, n-1}}{\sqrt{n}} \quad \text{Formel 13}$$

Der

$t_{\alpha, n-1}$ = α -persentilen i en t-fordeling med $n-1$ frihetsgrader. En $\alpha=0,75$ ble benyttet.

n = antall prøver

Den karakteristiske 5-persentilen for densitet og bøyefasthet ble beregnet med parametrisk metode med følgende formel fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$$m_k = \bar{y} - k_s(n)s_y \quad \text{Formel 14}$$

Der

m_k = karakteristisk 5-persentil for densitet (kg/m³) og bøyefasthet (N/mm²)

\bar{y} = gjennomsnittlig verdi beregnet med formel 10 (kg/m³, N/mm²)

s_y = standardavvik beregnet med formel 11 (kg/m³, N/mm²)

$k_s(n)$ ble beregnet med formel 15 fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b). Formelen gjelder for $p=5\%$ og $\alpha=0,75$:

$$k_s(n) = \frac{6,5n + 6}{3,7n - 3} \quad \text{Formel 15}$$

Der

n = antall prøver

For densitet og bøyefasthet ble den karakteristiske 5-persentilen også beregnet med ikke-parametrisk metode med følgende formel fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$$m_k = y_{0,5} \left(1 - \frac{k_{0,5,0,75} V}{\sqrt{n}}\right) \quad \text{Formel 16}$$

Der

n = antall testverdier

m_k = 5-persentil med 75% sannsynlighet (kg/m^3 , N/mm^2)

$y_{0,5}$ = 5-persentilen fra testdataene (kg/m^3 , N/mm^2)

V = Variasjonskoeffisient (%)

$k_{0,5,0,75}$ = faktor for å beregne 5-persentil med 75% sannsynlighet

$k_{0,5,0,75}$ ble beregnet med formel 17 fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b). Formelen gjelder for $p=5\%$ og $\alpha=0,75$:

$$k_{0,5,0,75} = \frac{0,49n + 17}{0,28n - 7,1} \quad \text{Formel 17}$$

2.6. Statistiske analyser

Variasjon i densitet, e-modul og bøyefasthet ble analysert med en lineær mikset modell (Formel 18). Den miksedede modellen ble valgt på grunn av avhengighet mellom observasjonene, ettersom det er hentet flere trær fra samme bestand, flere stokker fra samme tre og flere planker fra samme stokk. Den tilfeldige variansen ble delt mellom tre-variasjon og residualvariasjon. Det ble i tillegg vurdert å inkludere bestand som tilfeldig effekt, men den var ikke signifikant for noen av egenskapene. I tillegg er det tvilsomt å forutsette normalfordelt varians med bare fire bestand. Tre-variansen ble «nestet» under hvert bestand, for å sikre at programvaren behandlet hvert trenummer som unikt. Variabler på plankenivå ble lagt inn som faste effekter i modellen. Modellen forutsetter at residualene og de tilfeldige effektene er normalfordelte med et gjennomsnitt lik null.

$$Y = \mu + f(A, B, \dots) + T_j + e \quad \text{Formel 18}$$

Der

Y = densitet, e-modul eller bøyefasthet (kg/m^3 , kN/mm^2 , N/mm^2)

μ = krysningspunkt (eller gjennomsnitt for variansanalyser)

$f(A,B,\dots)$ = faste effekter

T_j = tilfeldige effekter av trær; mao. Varians mellom trær

e = residual; mao. Varians mellom planker fra samme tre

Først ble det gjennomført en varianskomponentanalyse av de avhengige variablene densitet, e-modul og bøyefasthet. Deretter ble det lagt inn variabler på bestands-, tre- og plankenivå. Variablene ble bare inkludert i de endelige modellene dersom de var signifikante på et nivå som var 0,05 eller mindre. Ingen variabler på bestands- eller trenivå var signifikante, og disse ble derfor fjernet. En fullstendig oversikt over variabler som ble testet, men som ikke inngikk i de endelige modellene er vist i vedlegg 1. I de endelige modellene inngår bare variabler på plankenivå. En oversikt over variablene som ble inkludert i de endelige modellene er vist i tabell 6.

Relativ høyde (Rel høyde) inngikk som variabel i de endelige modellene. Den relative høyden for hver planke ble beregnet som den vertikale posisjonen til senterposisjonen av lengden til hver planke i forhold til total trehøyde. For alle planker ble det lagt til 115 cm som ble kappet vekk ved uttak av stammeskive i brysthøyde (Vestøl & Høibø, 2022). For planker som ikke var tatt ut fra førstestokker, ble lengden på stokker tatt ut lenger ned enn den aktuelle stokken, lagt til.

Tabell 6: Definerings av variabler som ble brukt i modellene.

Variabel	Forkortelse	Enhet
Tilfeldig effekter for alle analyser		
Trenummer «nestet» under felt		
Faste effekter på plankenivå		
Densitet korrigert til 12% fuktighet	ρ_{12}	kg/m^3
E-modul korrigert til 12% fuktighet	MOE_{12}	kN/mm^2
Bøyefasthet	MOR_{12}	N/mm^2
Relativ høyde	Rel høyde	%
Diameter på største kantsidekvist ihht. NS-INSTA 142	Kk	mm
Største kvistgruppe ihht. NS-INSTA 142	Kg	mm
Gjennomsnittlig årringbredde ihht. NS-INSTA 142	Åb	mm

For å regne ut R^2 og RMSE for de faste delene av modellene ble det gjennomført lineære regresjoner mellom den modellerte verdien av densitet, e-modul og bøyefasthet mot de målte verdiene. Regresjonene ble tvunget gjennom 0 med et stigningstall på 1. For hver modell ble det beregnet R^2 og RMSE på bakgrunn av variansen fra modellene og variansen til egenskapene. R^2 ble beregnet med følgende formel:

$$R^2 = 1 - \left(\frac{RSS}{TSS}\right)$$

Formel 19

Der

RSS = Variansen til modellens residual (kg/m³, kN/mm², N/mm²)

TSS = Variansen til densitet, e-modul eller bøyefasthet (kg/m³, kN/mm², N/mm²)

RMSE ble beregnet med følgende formel:

$$RMSE = \sqrt{RSS}$$

Formel 20

Der

RSS = Variansen til modellens residual (kg/m³, kN/mm², N/mm²)

For sammenhengene mellom årringbredde og densitet, densitet og e-modul, e-modul og bøyefasthet, bøyefasthet og densitet, og bøyefasthet og kvistdiameter ble det også gjennomført enkle lineære regresjoner.

3. Resultater

Gjennomsnittlig densitet for alle plankene var 430 kg/m³ (Tabell 7). Den høyeste gjennomsnittsdensiteten ble observert i plankene fra Beiarn, og den laveste gjennomsnittlige densiteten ble observert i plankene fra Alta. De gjennomsnittlige densitetene for begge feltene i Nordland var høyere enn de gjennomsnittlige densitetene i feltene fra Troms og Finnmark.

Gjennomsnittlig e-modul for alle plankene var 12 kN/mm² (Tabell 7). Den høyeste gjennomsnittlige e-modulen ble observert i Beiarn, og den laveste e-modulen ble observert i Alta. De gjennomsnittlige e-modulene i begge feltene fra Nordland var høyere enn de gjennomsnittlige e-modulene fra feltene fra Troms og Finnmark.

Gjennomsnittlig bøyefasthet for alle plankene var 43,3 N/mm² (Tabell 7). Den høyeste gjennomsnittlige bøyefastheten ble observert i Beiarn, og den laveste e-modulen ble observert i Alta. De gjennomsnittlige bøyefastheten i begge feltene fra Nordland var høyere enn begge de gjennomsnittlige bøyefasthetene fra feltene i Troms og Finnmark.

Tabell 7: Gjennomsnittlig årringbredde og gjennomsnitt (\bar{y}), standardavvik (s) og 5-persentil ($_{0,05}$) for densitet, e-modul og bøyefasthet fordelt på bestand.

Bestand	Antall (n)	Årringbredde (mm)	Densitet ₁₂ (kg/m ³)			E-modul (kN/mm ²)			Bøyefasthet (N/mm ²)		
			\bar{y}_ρ	s_ρ	$\rho_{0,05}$	\bar{y}_E	s_E	$E_{0,05}$	\bar{y}_f	s_f	$f_{0,05}$
Alta	19	1,82	407	25	355	11,0	3,1	6,8	38,1	9,3	23,0
Bardu	36	1,93	428	37	386	11,3	1,8	8,5	38,4	11,1	22,2
Beiarn	25	1,57	443	56	373	13,6	2,4	10,7	50,4	10,8	34,9
Hattfjelldal	29	1,11	436	22	407	12,1	1,4	10,2	46,7	8,1	32,3
Alle	109	1,61	430	39	373	12,0	2,3	8,7	43,3	11,2	24,1

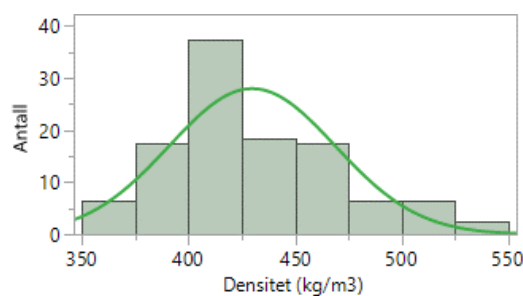
Gjennomsnittlig densitet, e-modul og bøyefasthet varierer mellom dimensjonene (Tabell 8). For både densitet og e-modul er gjennomsnittlig verdi høyest for de minste plankene, og avtakende med økende størrelse på planketverrsnitt. Den gjennomsnittlige bøyefastheten er høyest for 50×150 mm, men bare 2,4 N/mm² høyere enn 50×100 mm. 50×200 mm hadde den laveste bøyefastheten på 36,8 N/mm².

Tabell 8: Gjennomsnitt (\bar{y}), standardavvik (s) og 5-persentil ($_{0,05}$) for densitet, e-modul og bøyefasthet fordelt på dimensjon.

Dimensjon (mm)	Antall (n)	Densitet ₁₂ (kg/m ³)			E-modul (kN/mm ²)			Bøyefasthet (N/mm ²)		
		\bar{y}_ρ	s_ρ	$\rho_{0,05}$	\bar{y}_E	s_E	$E_{0,05}$	\bar{y}_f	s_f	$f_{0,05}$
50 × 100	35	435	30	394	12,4	2,8	7,7	43,2	10,8	24,9
50 × 150	55	432	47	369	12,2	2,1	9,1	45,6	11,5	24,7
50 × 200	19	414	21	387	10,8	1,4	7,8	36,8	8,4	22,9
Total	109	430	39	373	12,0	2,3	8,7	43,3	11,2	24,1

3.1. Densitet

Figur 6 viser fordelingen av densitet målt på hver enkelt planke. Den grønne kurven viser tilpasset normalfordeling. Fordelingen er skjev mot venstre med tung hale mot høyre, og ikke normalfordelt (Shapiro-Wilk: $p=0,0006$).



Figur 6: Fordeling av observasjoner av densitet med tilpasset normalfordelingskurve.

Varianskomponentanalysen viste at 81,22% av variasjonen i densitet skyldtes variasjon mellom trær og at 18,77% skyldtes forskjeller mellom planker fra samme tre (Tabell 9). Ingen variabler på bestandsnivå hadde signifikant effekt på densitet, alene eller sammen med variabler på plankenivå (Vedlegg 1). Årringbredde hadde ikke signifikant effekt på densiteten alene ($p=0,1245$).

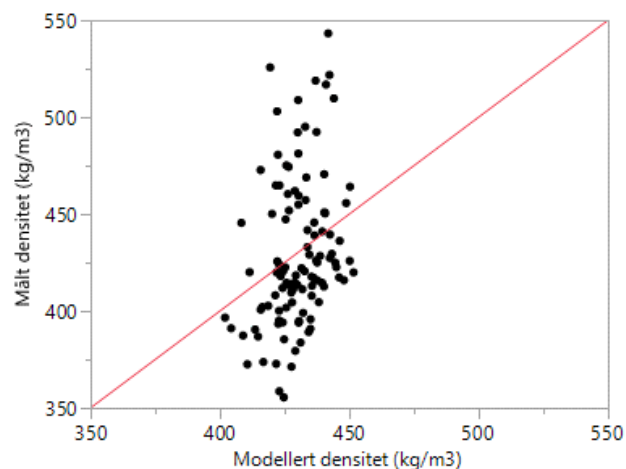
En multippel modell viste at densiteten avtok med økende årringbredde ($F=6,17$; $p=0,0147$) og økte med økende relativ høyde ($F=44,08$; $p<0,001$) (Modell 1). De faste effektene forklarte 9% av variansen, og variansen mellom trær med ble redusert med 3,4% og variansen mellom planker fra samme tre ble redusert med 32%. Variansen som ikke ble forklart av de faste effektene i modellen var fordelt med 86% mellom trær og 14% mellom planker fra samme tre.

Densiteten økte med relativ høyde ($F=39,3$; $p<0,001$), og relativ høyde forklarte 4% av den totale variansen (Modell 2). Variansen mellom trær økte med 1,8%, mens variansen mellom planker fra samme tre ble redusert med 28% (Modell 2). Variansen som ikke ble forklart av relativ høyde var fordelt med 86% mellom trær og 14% mellom planker fra samme tre.

Tabell 9: Varianskomponentanalyse og modeller for densitet.

Y	Modell	Modell	R ²	RMSE	Varianskomponenter		
					σ_T^2	σ_e^2	σ^2 Tot
ρ_{12}		-			1277	295	1572
	1	$\rho_{12}=429-10,72\text{Åb}+62,18\text{Rel_høyde}$	0,085	38,9	1233	202	1435
	2	$\rho_{12}=413+59,81\text{Rel_høyde}$	0,031	38,3	1300	211	1511

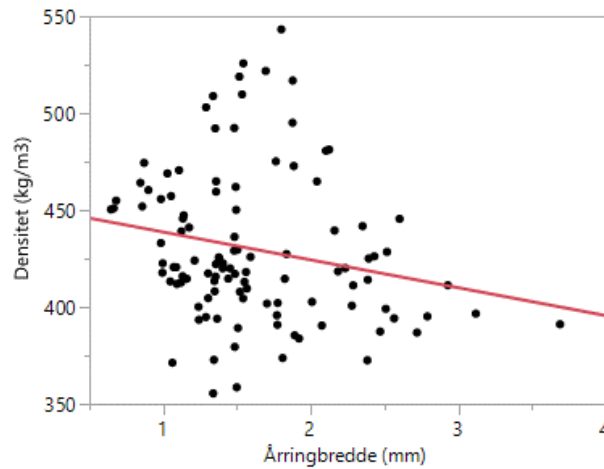
Figur 7 viser sammenhengen mellom observert densitet og densitet modellert med relativ høyde og årringbredde i modell 1, med kurve tvunget gjennom 0 med stigningstall lik 1.



Figur 7: Modellert densitet med modell 1 mot målt densitet med kurve tvunget gjennom 0 og stigningstall lik 1.

3.1.1. Sammenhengen mellom årringbredde og densitet

En enkel lineær regresjon mellom årringbredde og densitet er vist i figur 8. Densiteten avtar med økende årringbredde ($p=0,0299$), og R^2 er lik 4,3%.



Figur 8: Sammenhengen mellom densitet og årringbredde med tilpasset regresjonslinje.

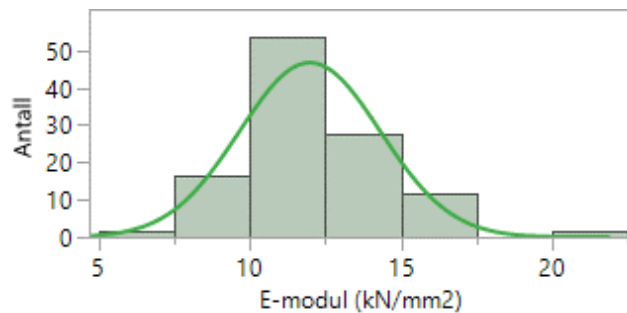
Den lineære regresjonen gav følgende sammenheng:

$$\text{Densitet} = 453 - 14,36 * \text{Årringbredde}$$

Formel 21

3.2. E-modul

Fordelingen av observasjoner for e-modul er vist i figur 9. Den grønne kurven viser tilpasset normalfordeling. Fordelingen er forskjøvet mot venstre og ikke normalfordelt (Shapiro-Wilk $p=0,0004$).



Figur 9: Fordeling av observasjoner for e-modul med tilpasset normalfordelingskurve.

Varianskomponentanalysen av e-modul viste at 61% av variasjonen skyldtes forskjeller mellom trær og 39% skyldtes forskjeller mellom planker fra samme tre (Tabell 10). Relativ høyde ($p=0,2381$) og kantkvist ($p=0,2050$) hadde ikke signifikant effekt når de ble brukt alene. Det var imidlertid signifikant positiv effekt av densitet ($p=<0,0001$) og negativ effekt av kvistgruppe ($p=0,0015$).

En multippel modell (Modell 3) viste at e-modulen øker med økende densitet ($F=111,9$; $p<0,0001$), og reduseres med økende diameter på kantsidekvist ($F=7,2$; $p=0,0085$) og økende kvistgruppe ($F=10,6$; $p=0,0016$). De faste effektene forklarte 62% av den totale variasjonen i e-modul og variasjonen mellom trær var ikke signifikant (Wald p-verdi: 0,5869). Trenummer ble derfor fjernet som tilfeldig effekt for denne modellen (Modell 3).

E-modulen øker med økende densitet ($F=106,3$; $p<0,001$), og densitet forklarte 50% av den totale variasjonen i e-modul (Modell 4). Variansen mellom trær var ikke signifikant (Wald p-verdi: 0,1323), og trenummer ble derfor fjernet som tilfeldig effekt for denne modellen (Modell 4).

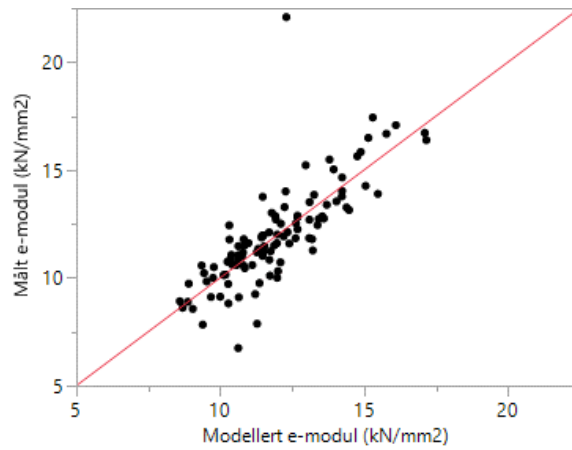
E-modulen avtar med økende kvistsum i kvistgruppe ($F=10,69$; $p=0,0015$), og kvistgruppe forklarte 15% av den totale variasjonen i E-modul (Modell 5). Variansen mellom trær ble redusert med 19,1% og variansen mellom planker fra samme tre med 7,7%. Variasjonen i e-modul som kvistgruppe ikke forklarte var fordelt med 58% mellom trær og 42% mellom planker fra samme tre.

E-modulen avtar med økende årringbredde ($F=4,64$; $p=0,0335$), og årringbredde forklarte 8% av den totale variasjonen i e-modul (Modell 6). Variansen mellom trær ble redusert med 10% og variansen mellom planker fra samme tre med 3,2%. Variasjonen i e-modul som årringbredde ikke forklarte var fordelt med 59% mellom trær, og 41% mellom planker fra samme tre.

Tabell 10: Varianskomponentanalyse og modeller for e-modul.

Y	Modell	Modell	R ²	RMSE	Varianskomponenter		
					σ_T^2	σ_e^2	σ^2 Tot
MOE ₁₂		-			3,4	2,2	5,6
	3	MOE ₁₂ = -2,25+0,04ρ ₁₂ -0,06Kk-0,03Kg	0,618	1,4	-	2,1	2,1
	4	MOE ₁₂ = -6,19+0,04ρ ₁₂	0,498	1,7	-	2,8	2,8
	5	MOE ₁₂ = 13,4-0,03Kg	0,156	2,1	2,8	2,0	4,8
	6	MOE ₁₂ = 13,54-0,92Åb	0,092	2,2	3,0	2,1	5,2

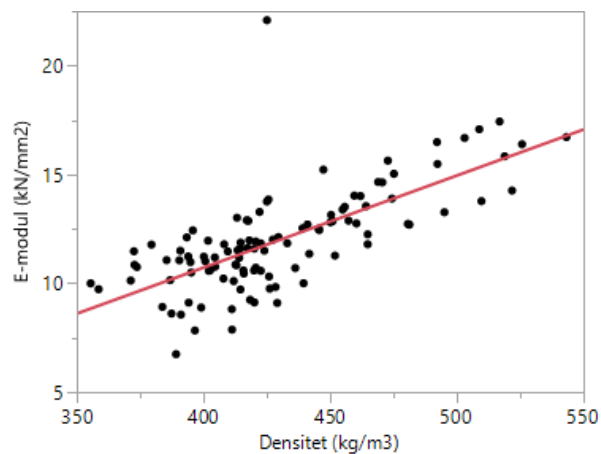
Sammenhengen mellom observert e-modul og e-modul modellert med modell 3 er vist i figur 10 med kurve tvunget gjennom 0 med stigningstall lik 1.



Figur 10: Modellert e-modul med modell 3 mot målt e-modul med kurve tvunget gjennom 0 med stigningstall lik 1.

3.2.1. Sammenhengen mellom e-modul og densitet.

Sammenhengen mellom e-modul og densitet er vist i figur 11 med en enkel regresjon. E-modulen øker med økende densitet, og R^2 er lik 49,8%.



Figur 11: Regresjon mellom e-modul og densitet.

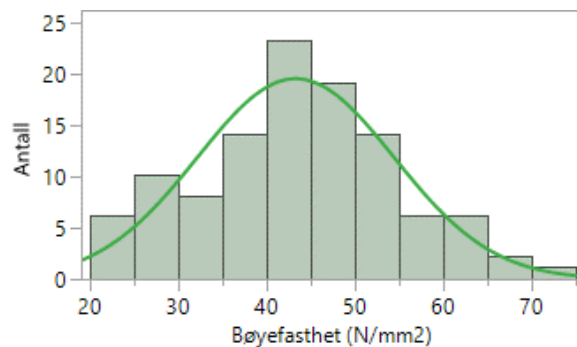
Den lineære modellen gav følgende sammenheng:

$$MOE_{12} = -6,19 + 0,04 * Densitet_{12}$$

Formel 22

3.3. Bøyefasthet

Fordelingen av bøyefasthet med tilpasset normalfordelingskurve er vist i figur 12. Fordelingen er tilnærmet normalfordelt med tung hale mot høyre (Shapiro-Wilk: $p=0,3850$).



Figur 12: Fordeling av bøyefasthet med tilpasset normalfordelingskurve.

Varianskomponentanalysen av bøyefasthet viste at 64% av variansen skyldtes forskjeller mellom trær og 36% mellom planker fra samme tre (Tabell 11). Relativ høyde hadde ikke signifikant effekt på bøyefasthet alene ($p=0,0511$).

En multippel modell (Modell 7) viste at bøyefastheten økte med økende densitet ($F=12,2$; $p=0,0007$) og e-modul ($F=31,98$; $p<0,0001$), og avtok med økende kantsidekvist ($F=24,05$; $p<0,0001$) og relativ høyde ($F=8,87$; $p=0,0036$). De faste effektene forklarte 69% av variasjonen i bøyefasthet. Variasjonen mellom trær var ikke lenger signifikant (Wald p-verdi: 0,1085), og trenummer ble derfor fjernet som tilfeldig effekt i denne modellen (Modell 7).

Bøyefastheten øker med økende densitet, og densitet forklarte 32% av den totale variasjonen i bøyefasthet (Modell 8). Variansen mellom trær ikke var signifikant (Wald p-verdi: 0,0544), og trenummer ble derfor fjernet som tilfeldig effekt for denne modellen (Modell 8).

Bøyefastheten avtar med økende kantsidekvist ($F=10,93$; $p=0,0013$), og kantsidekvisten forklarte 17% av variasjonen i bøyefasthet (Modell 9). Variansen mellom trær ble redusert med 23% og variansen mellom planker fra samme tre ble redusert med 6,5%. Variansen som kantsidekvist ikke forklarte var fordelt med 60% mellom trær og 40% mellom planker fra samme tre.

Bøyefastheten øker med økende e-modul ($F=150,34$; $p<0,0001$), og e-modul forklarte 52% av variasjonen i bøyefasthet (Modell 10). Variansen mellom trær var ikke lenger signifikant (Wald p-verdi: 0,0613), og trenummer ble derfor fjernet som tilfeldig effekt for denne modellen (Modell 10).

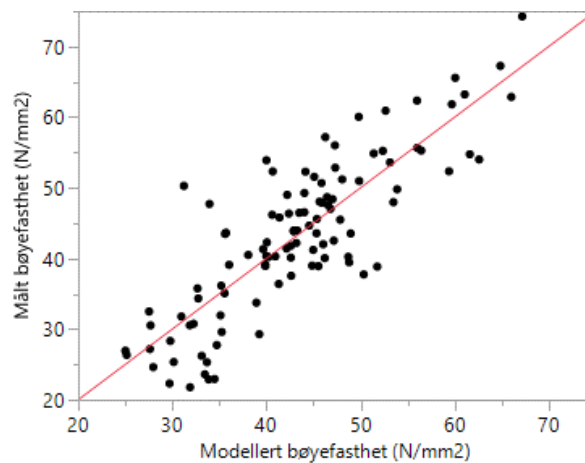
Bøyefastheten avtar med økende kvistsum i kvistgruppen ($F=12,82$; $p=0,0005$), og kvistgruppe forklarte 9% av den totale variasjonen i bøyefasthet (Modell 11). Variansen mellom trær ble redusert med 24% og variansen mellom planker fra samme tre ble redusert med 8%. Variansen som kvistgruppe ikke forklarte var fordelt med 60% mellom trær og 40% mellom planker fra samme tre.

Bøyefastheten avtar med økende årringbredde ($F=4,17$; $p=0,0435$), og årringbredde forklarte 14% av variasjonen i bøyefasthet. Variansen mellom trær ble redusert med 20% og variansen mellom planker fra samme tre ble redusert med 0,9%. Variansen som årringbredde ikke forklarte var fordelt med 59% mellom trær og 41% mellom planker fra samme tre.

Tabell 11: Varianskomponentanalyse og modeller for bøyefasthet.

Y	Modell	Modell	R ²	RMSE	Varianskomponenter		
					σ_T^2	σ_e^2	σ^2 Tot
MOR ₁₂		-			76,4	42,3	118,7
	7	MOR ₁₂ = -3,89+0,08ρ ₁₂ - 0,46Kk+2,23MOE ₁₂ -12,36Rel_høyde	0,710	6,0	-	37,4	37,4
	8	MOR ₁₂ = -29,91+0,17ρ ₁₂	0,353	9,0	-	81,2	81,2
	9	MOR ₁₂ = 51,56-0,35Kk	0,187	10,1	58,7	39,6	98,3
	10	MOR ₁₂ = -0,56+3,66MOE ₁₂	0,584	7,2	-	52,6	52,2
	11	MOR ₁₂ = 50,28-0,14Kg	0,200	10,0	58,2	38,8	97,0
	12	MOR ₁₂ = 50,14 - 3,86Åb	0,156	10,2	60,9	41,9	102,9

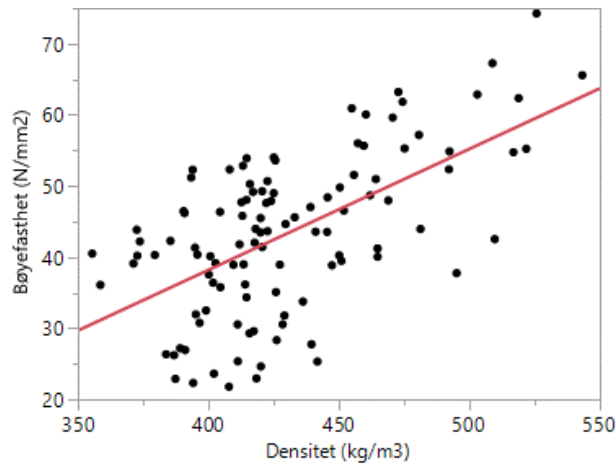
Figur 13 viser sammenhengen mellom målt bøyefasthet og bøyefasthet modellert med modell 7 med kurve tvunget gjennom 0 med stigning lik 1.



Figur 13: Modellert bøyefasthet med modell 7 mot målt bøyefasthet med kurve tvunget gjennom 0 og stigningstall lik 1.

3.3.1. Sammenhengen mellom bøyefasthet og densitet

Sammenhengen mellom bøyefasthet og densitet er vist i figur 14, med tilpasset regresjonslinje. Bøyefastheten øker med økende densitet, og R² er lik 33,5%.



Figur 14: Regresjon mellom bøyefasthet og densitet.

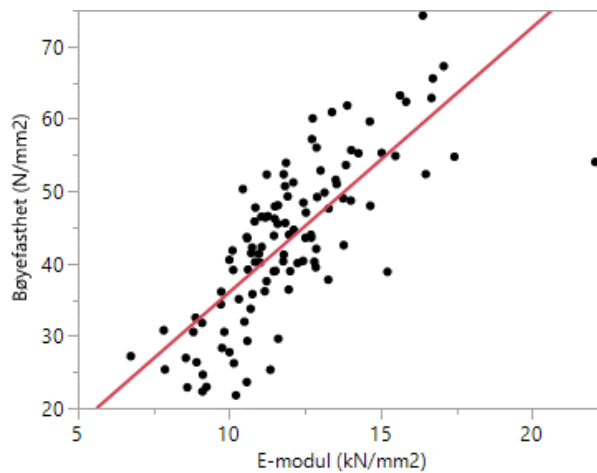
Den lineære modellen gav følgende sammenheng:

$$MOR_{12} = -29,39 + 0,17 * Densitet_{12}$$

Formel 23

3.3.2. Sammenhengen mellom e-modul og bøyefasthet

Sammenhengen mellom bøyefasthet og e-modul er vist i figur 15 med en enkel regresjon. Bøyefastheten øker med økende e-modul, og R^2 er lik 58,4%.



Figur 15: Regresjon mellom e-modul og bøyefasthet.

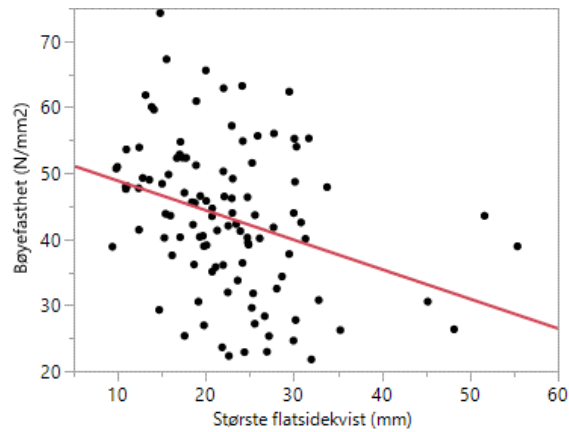
Den lineære modellen gav følgende sammenheng:

$$MOR_{12} = -0,55 + 3,66 * MOE_{12}$$

Formel 24

3.3.3. Sammenhengen mellom bøyefasthet og kvistdiameter

Sammenhengen mellom bøyefasthet og diameteren på største flatsidekvist er vist i figur 16 med en enkel regresjon. Bøyefastheten avtar med økende diameter på kvisten, og R^2 er lik 10,7%.



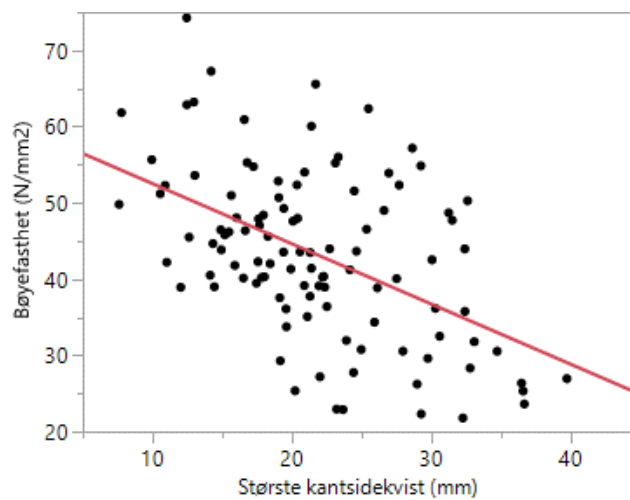
Figur 16: Lineær regresjon mellom bøyefasthet og diameter på største flatsidekvist med tilpasset regresjonslinje.

Den lineære modellen gav følgende sammenheng:

$$MOR_{12} = 53,33 - 0,45 * \text{Største flatsidekvist}$$

Formel 25

Sammenhengen mellom bøyefasthet og største kantsidekvist er vist i figur 17 med en enkel regresjon. Bøyefastheten avtar med økende kantsidekvist og R^2 er lik 26%.



Figur 17: Regresjon mellom bøyefasthet og diameter på største kantsidekvist.

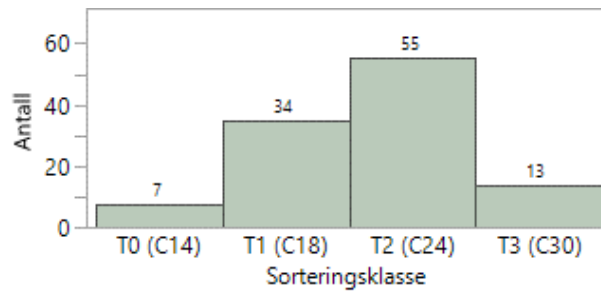
Den lineære modellen gav følgende sammenheng:

$$MOR_{12} = 60,41 - 0,79 * \text{Største kantsidekvist}$$

Formel 26

3.4. NS-INSTA 142

Den visuelle sorteringen etter kvistkravene i NS-INSTA 142 gav flest planker i T2, etterfulgt av T1 (Figur 18). Selv om det ble forsøkt unngått å velge ut prøvetrær uten synlige virkesfeil, ble flere planker nedklasset på grunn av gankvist. Plankene med gankvist ble automatisk nedklasset fra T3, men avhengig av plasseringen og størrelsen på gankvisten ble plankene sortert til enten T2, T1 eller T0.



Figur 18: Antall planker sortert til de ulike sorteringsklassene etter NS-INSTA 142.

Sorteringsutfallet varierer mellom de forskjellige bestandene (Tabell 12). De største andelene av trelasten fra bestandene i Troms og Finnmark ble sortert til T2 og T1 med henholdsvis 44% og 42% av plankene. 11% av plankene fra Troms og Finnmark ble sortert til T0. Klassene T0 og T1 utgjør dermed over halvparten (53%) av plankene fra Troms og Finnmark. Den største andelen av trelasten fra Nordland ble sortert til T2 (57%). Det var like mange planker fra Nordland som ble sortert til T1 og T3. Klassene T2 og T3 utgjør 77% av plankene fra Nordland, mot 47% fra Troms og Finnmark. Det er forskjeller i hvilke stokknumre som er representert fra de ulike bestandene, og hvor mange stokker som ble tatt ut fra hvert prøvetre. Fjerde- og femtestokker er ikke representert i alle sorteringsklassene, og det ble ikke tatt ut fjerde- og femtestokker fra alle feltene. Femtestokker ble bare tatt ut fra bestandene i Hattfjelldal og Bardu, og det ble bare tatt ut femtestokker fra ett tre fra hvert av feltene. Fjerdestokker ble tatt ut fra alle bestandene utenom Alta. Tredjestokkene fra Alta ble også bare tatt ut fra ett prøvetre.

Fordelingen mellom de ulike sorteringsklassene er relativt lik i bestandene fra Nordland, mens de to bestandene i Troms og Finnmark skiller seg noe mer fra hverandre. Bardu har en langt større del av plankene i T0, og er det feltet som har størst andel av plankene i T1. Kjikkvadrat-test viser signifikante forskjeller mellom sorteringsutfallet fra de ulike bestandene (Kjikkvadrat: 20,929; $p = 0,0130$ og Pearson Kjikkvadrat: 19,946; $p = 0,0183$).

Tabell 12: Antall planker i hver sorteringsklasse per bestand. Andel av rad i parentes.

Bestand	T0	T1	T2	T3	Total
Alta	1 (5%)	7 (37%)	10 (53%)	1 (5%)	19 (100%)
Bardu	5 (14%)	16 (44%)	14 (39%)	1 (3%)	36 (100%)
Beiarn	0 (0%)	4 (16%)	14 (56%)	7 (28%)	25 (100%)
Hattfjelldal	1 (3%)	7 (24%)	17 (59%)	4 (14%)	29 (100%)
Total	7 (6%)	34 (31%)	55 (50%)	13 (12%)	109 (100%)

Sorteringsutfallet varierer mellom de ulike stokknumrene (Tabell 13). Stokknummer 4 og 5 ble slått sammen på grunn av lavt antall planker fra stokknummer 5. De største andelene av plankene som ble sortert til klasse T2 og T3 var fra stokknr 1 og 2. Andelen T1 og T0 var størst for stokknummer 3 og 4+5. Kjikvadrat-tester (Kjikvadrat: 19,167; $p=0,0238$ og pearson kjikvadrat: 18,980; $p=0,0254$) viser signifikant sammenheng mellom stokknummer og sorteringsklasse.

Tabell 13: Antall planker i hver sorteringsklasse fordelt på stokknummer. Andel av rad i parentes.

Stokknummer	T0	T1	T2	T3	Total
1	1 (3%)	5 (14%)	22 (61%)	8 (22%)	36 (100%)
2	2 (6%)	9 (26%)	20 (59%)	3 (9%)	34 (100%)
3	2 (11%)	10 (53%)	6 (32%)	1 (5%)	19 (100%)
4 + 5	2 (10%)	10 (50%)	7 (35%)	1 (5%)	20 (100%)
Total	7 (6%)	34 (31%)	55 (50%)	13 (12%)	109 (100%)

Gjennomsnittlig diameter på største kantsidekvist, flatsidekvist og kvistgruppe var minst i plankene fra Beiarn (Tabell 14). Kvistene i plankene fra Hattfjelldal er omtrent på samme nivå, men kvistene har noe større diameter i Hattfjelldal sammenlignet med Beiarn. Bestandet i Alta har noe større kvistdiametere, men den største diameteren på kantsidekvist, flatsidekvist og kvistgruppe er i plankene fra bestandet i Bardu. Gjennomsnittlig diameter på kantsidekvist, flatsidekvist og kvistgruppe var større i plankene fra Troms og Finnmark enn i plankene fra Nordland.

Tabell 14: Gjennomsnittlig diameter (\bar{y}) på kantsidekvist, flatsidekvist og kvistgruppe fordelt på bestand med standardavvik (s).

Bestand	Antall (n)	Største kantsidekvist (mm)		Største flatsidekvist (mm)		Største kvistgruppe (mm)	
		\bar{y}	s	\bar{y}	s	\bar{y}	s
Alta	19	22,5	6,0	21,5	4,8	46,5	13,9
Bardu	36	26,0	7,8	27,0	8,6	58,5	21,3
Beiarn	25	17,4	4,6	19,5	5,0	38,1	14,4
Hattfjelldal	29	20,5	6,5	19,9	9,3	39,3	17,6
Total	109	21,9	7,4	22,4	8,1	46,6	19,6

3.5. Egenskaper til trelast fordelt på sorteringsklasser

Gjennomsnittlig densitet var høyest i T3, etterfulgt av T1, T2 og T0 (Tabell 15). Dersom T2 og T3 slås sammen til én klasse (T2+T3), oppnås en gjennomsnittlig densitet som ligger mellom T1 og T2. For e-modul og bøyefasthet er den gjennomsnittlige verdien størst i T3, etterfulgt av T2+T3, T2, T1 og T0. Standardavviket for densitet er størst for T2+T3, etterfulgt av T1, T2+T3, T2 og T0. For både e-modul og bøyefasthet er standardavviket størst for T1, etterfulgt av T3, T2 og T0.

Tabell 15: Gjennomsnitt (\bar{y}), standardavvik (s) og 5-persentil ($_{0,05}$) for densitet, e-modul og bøyefasthet gruppert etter sorteringsutfallet etter NS-INSTA 142.

Sortering	Antall (n)	Densitet ₁₂ (kg/m ³)			E-modul (kN/mm ²)			Bøyefasthet (N/mm ²)		
		\bar{y}_ρ	s_ρ	$\rho_{0,05}$	\bar{y}_E	s_E	$E_{0,05}$	\bar{y}_f	s_f	$f_{0,05}$
T0	7	408	20	384	9,6	0,7	8,6	29,5	6,4	24,6
T1	34	435	40	389	11,6	3,0	7,6	38,4	11,6	22,2
T2	55	425	34	372	12,1	1,6	9,9	45,0	7,6	33,6
T3	13	447	54	355	13,8	2,2	10,0	56,3	9,6	40,5
T2+T3	68	430	39	372	12,4	1,9	10,0	47,2	9,1	35,5

3.5.1. Karakteristiske verdier

Estimater fra den parametriske metoden er beregnet for alle sorteringsklassene (Standard Norge, 2016b). Den ikke-parametriske metoden for beregning av karakteristisk densitet og bøyefasthet skal ikke benyttes dersom utvalget er mindre enn 40 planker (Standard Norge, 2016b). I denne studien er derfor er den ikke-parametriske metoden kun benyttet for T2 og T2+T3 der N er henholdsvis 55 og 68.

Trelast som ble sortert til T0 holdt kravene til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet for C14 (Tabell 16). Trelasten som ble sortert til T1 holdt kravene til karakteristisk densitet og e-modul, men ikke bøyefasthet for C18. Trelasten som ble sortert til T2 holdt kravene til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet for C24 med både parametriske og ikke-parametriske beregning. Trelasten som ble sortert til T3 holdt ikke kravet til karakteristisk densitet, men holdt kravet til karakteristisk e-modul og bøyefasthet for C30. Slås T2 og T3 sammen til klassen T2+T3 holder trelasten kravet til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet for C24 med både parametriske og ikke-parametriske beregning.

Tabell 16: Karakteristiske verdier for densitet, e-modul og bøyefasthet fordelt på sorteringsklasser. For T2 og T2+T3 er Ikke-parametriske verdi oppgitt i parentes. Fargede celler er lavere enn kravet til karakteristisk verdi.

Sortering	Antall (n)	Densitet ₁₂ (kg/m ³)	E-modul (kN/mm ²)	Bøyefasthet (N/mm ²)
		m_k	m_m	m_k
T0	7	363	9,4	15,0
T1	34	360	11,3	16,9
T2	55	363 (364)	11,9	31,3 (32,1)
T3	13	337	13,4	37,0
T2+T3	68	358 (363)	12,3	30,8 (33,9)

Trelasten fra både Nordland og Troms og Finnmark som ble sortert til T1 og T2 holdt kravene til karakteristisk densitet og e-modul for henholdsvis C18 og C24 (Tabell 17). Forskjellene i karakteristisk densitet mellom plankene fra Nordland og fra Troms og Finnmark var små, mens for både T1 og T2 var den karakteristiske e-modulen høyere for plankene fra Nordland enn fra Troms og Finnmark.

Trelasten som ble sortert til T1 fra Nordland holdt kravet til karakteristisk bøyefasthet for C18 (Tabell 17). Trelasten fra Troms og Finnmark som ble sortert til T1, holdt ikke kravet til karakteristisk bøyefasthet for C18. Trelasten som ble sortert til T2 fra både Nordland og Troms og Finnmark holdt kravet til karakteristisk bøyefasthet for C24.

Trelasten fra både Nordland og Troms og Finnmark holdt kravet til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet for C24 dersom klassene T2 og T3 slås sammen til T2+T3. De karakteristiske verdiene for T2+T3 er høyere for trelasten fra Nordland enn trelasten fra Troms og Finnmark.

Tabell 17: Karakteristiske verdier (m), gjennomsnitt (\bar{y}) og 5-persentil ($_{0,05}$) for densitet, e-modul og bøyefasthet for sorteringsklasse T1, T2 og T2+T3 fordelt på fylker. Fargede celler er lavere enn kravet til karakteristisk verdi.

Sortering	Fylke	Antall (n)	Densitet ₁₂ (kg/m ³)			E-modul (kN/mm ²)			Bøyefasthet (N/mm ²)		
			m_k	\bar{y}_ρ	$\rho_{0,05}$	m_{mean}	\bar{y}_E	$E_{0,05}$	m_k	\bar{y}_f	$f_{0,05}$
T1	Nordland	11	355	444	404	12,0	12,5	10,5	24,3	45,0	29,6
	Troms og Finnmark	23	357	431	388	10,7	11,2	7,0	14,2	35,2	21,9
T2	Nordland	31	362	430	373	12,2	12,4	10,2	32,4	46,3	36,6
	Troms og Finnmark	24	363	420	361	11,5	11,7	8,3	29,0	43,4	26,0
T2+T3	Nordland	42	362	438	373	12,7	12,9	10,4	32,2	49,4	37,8
	Troms og Finnmark	26	356	416	357	11,5	11,6	8,5	29,5	43,6	26,2

4. Diskusjon

Denne undersøkelsen er en del av et prosjekt som tar sikte på å øke kunnskapsgrunnlaget om egenskapene til skogreisingsgran nord for Saltfjellet, og formålet er å vurdere om trelast fra skogreisingsgran fra Nord-Norge er egnet som konstruksjonsvirke. Trelasten som ble testet i denne masteroppgaven er fra et begrenset materiale som ble samlet inn i et forprosjekt (Vestøl & Høibø, 2022). På grunn av et lavt antall planker totalt, og at plankene er hentet fra et lavt antall bestand, kan det ikke sies med sikkerhet at dette plankematerialet er representativt for gran fra Nord-Norge. Ettersom det bare ble tatt ut tre prøvetrær per bestand kan det heller ikke med sikkerhet sies at resultatene er representative for de respektive bestandene, selv om trærne ble valgt ut etter diameter i brysthøyde. Resultatene må derfor tolkes i lys av dette.

Bestandene som trærne er hentet fra er alle langsiktige feltforsøk. De ulike forsøksfeltene har undergått ulik skogbehandling (NIBIO, 2024), og det er derfor forventet at trærne i bestandet, og egenskapene til trelasten, er påvirket av skogbehandlingen som har blitt gjennomført (Pape, 1999). Effektene av skogbehandlingen har ikke latt seg analysere på grunn av det lave antallet bestand og ufullstendig forsøksoppsett. Skogbehandlingen som ble gjennomført i enkelte av

forsøksfeltene kan i stor grad avvike fra den dominerende skogbehandlingen i Nord-Norge og resten av landet. Dette kan bidra ytterligere til at feltene i undersøkelsen ikke er representativ for all skog i Nord-Norge.

4.1. Sammenligning med tidligere studier

I et stort datamateriale fra Østlandet og Trøndelag fant Foslie og Moen (1968) en gjennomsnittlig densitet på 470 kg/m^3 . 470 kg/m^3 er imidlertid oppgitt med 15% fuktighet. Dersom 470 kg/m^3 korrigeres til 12% med formel 6 ihht. EN 384 (Standard Norge, 2022) oppnås en gjennomsnittlig densitet på 463 kg/m^3 . Den gjennomsnittlige densiteten Foslie og Moen (1968) fant på Østlandet og Trøndelag er dermed fremdeles høyere enn den gjennomsnittlige verdien i denne studien. Det samme gjelder e-modul og bøyefasthet. Både e-modulen og bøyefastheten fra Foslie og Moen (1968) er beregnet med 15% fuktighet, men når e-modulen korrigeres til 12% med formler fra EN-384 blir middelverdien for e-modul på $12,8 \text{ kN/mm}^2$. EN-384 foreskriver ingen fuktkorrigerings av bøyefastheten, men bøyefastheten ved 15% fuktighet var på $43,3 \text{ N/mm}^2$. De gjennomsnittlige e-modulene og bøyefastheten for begge bestandene i Nordland i denne undersøkelsen er på nivå med det Foslie og Moen (1968) fant, på tross av at den gjennomsnittlige densiteten er en del lavere (Tabell 7). Mulige faktorer som skaper forskjellene er ulikheter i fiberlengde, mikrofibrillvinkel eller fiberforstyrrelser (Vestøl, 2022).

Verdiene fra denne studien er imidlertid høyere enn det Eikenes (1991) fant i et materiale med gran fra Vestlandet, der den gjennomsnittlige densiteten var på 399 kg/m^3 . Eikenes (1991) fant en gjennomsnittlig e-modul på 10 kN/mm^2 og en gjennomsnittlig bøyefasthet på $33,2 \text{ N/mm}^2$. Den gjennomsnittlige densiteten, e-modulen og bøyefastheten i denne studien er også høyere enn det Vestøl et al. (2001) i gjennomsnitt fant for $100 \times 350 \text{ mm}$ i en studie av grov gran fra Vestlandet. Den gjennomsnittlige e-modulen og bøyefastheten Vestøl et al. (2001) fant for $75 \times 250 \text{ mm}$ er på nivå med de gjennomsnittlige verdiene i denne undersøkelsen, på tross av at densiteten er lavere. Den gjennomsnittlige densiteten for 75×250 er på nivå med det denne undersøkelsen fant i Alta (Tabell 7). For 75×250 fant Vestøl et al. (2001) en gjennomsnittlig densitet på 405 kg/m^3 , e-modul på $12,5 \text{ kN/mm}^2$ og bøyefasthet på 44 N/mm^2 . For $100 \times 350 \text{ mm}$ fant Vestøl et al. (2001) en gjennomsnittlig densitet på 394 kg/m^3 , e-modul på $10,6 \text{ kN/mm}^2$ og bøyefasthet på $33,3 \text{ N/mm}^2$.

Vestøl et al. (2012) undersøkte densitet, e-modul og bøyefasthet for et materiale bestående av 6 bestand fra Hurdal på Østlandet. Materialet er ikke representativt for all gran i Sør-Norge, men dette området er en viktig del av norsk produksjon av gran. Gjennomsnittlig densitet for hele materialet var 442 kg/m^3 , gjennomsnittlig e-modul var på 13 kN/mm^2 og gjennomsnittlig bøyefasthet var på $51,4 \text{ kN/mm}^2$ (Vestøl et al., 2012). Dette er høyere enn det som ble observert i denne studien (Tabell 7). For store trær ble det observert en gjennomsnittlig densitet på 428 kg/m^3 , e-modul på 12 kN/mm^2 og bøyefasthet på $46,7 \text{ N/mm}^2$. Dette er på nivå med den

gjennomsnittlige densiteten i Bardu, men e-modulen er noe høyere og bøyefastheten fra Hurdal er langt høyere enn bøyefastheten fra Bardu. Den gjennomsnittlige bøyefastheten for store trær fra Hurdal er på nivå med det denne studien fant i Hattfjelldal og Beiarn, der den gjennomsnittlige densiteten var noe høyere enn i Hurdal. De gjennomsnittlige verdiene for både densitet, e-modul og bøyefasthet for store trær fra Hurdal er på nivå med de gjennomsnittlige verdiene for hele materialet i denne studien (Vestøl et al., 2012).

Det er gjennomført få studier på gran fra Nord-Norge. I en undersøkelse fra 2008 fant Vadla (2008) en gjennomsnittlig basisdensitet på 331 kg/m^3 i gran fra Nord-Norge, og dette er lavere enn de gjennomsnittlige basisdensitetene som ble beregnet i forprosjektet (Vestøl & Høibø, 2022). Forprosjektet fant en gjennomsnittlig basisdensitet på 356 kg/m^3 i Alta, 366 kg/m^3 i Bardu, 391 kg/m^3 i Beiarn og 373 kg/m^3 i Hattfjelldal (Vestøl & Høibø, 2022). Materialet til Vadla (2008) bestod av 48 trær tatt ut fra 6 bestand nord for polarsirkelen, der det nordligste bestandet lå i Alta. Bestandene i undersøkelsen var imidlertid svært mye yngre enn feltene i forprosjektet, og det eldste feltet var bare 69 år (Vadla, 2008).

Nygaard (2003) undersøkte densitet, e-modul, bøyefasthet og styrkesortering av skogreisingsgran i fra Nordland. Datamaterialet stammer fra avvirkning av ett bestand i Viknes i Steigen ($67^{\circ}45'N$, $15^{\circ}15'Ø$) nær kysten (5-30 moh). Etersom dataene bare stammer fra ett bestand er det svært usikkert om dette er representativt for fylket og for skogreisingsgran fra Nord-Norge. Verdiene som er oppgitt fra undersøkelsen er heller ikke representative for hele partiet med trelast, ettersom det bare var planker sortert til C30 som ble testet. Gjennomsnittlig densitet og bøyefasthet for begge dimensjoner i studien til Nygaard (2003) var lavere enn det som ble funnet som et gjennomsnitt for denne studien, mens e-modulen for begge dimensjoner var høyere i studien til Nygaard (2003). For $38 \times 100 \text{ mm}$ fant Nygaard (2003) en gjennomsnittlig densitet på 410 kg/m^3 , e-modul på 14 kN/mm^2 og bøyefasthet på $34,9 \text{ N/mm}^2$. For $50 \times 100 \text{ mm}$ fant Nygaard (2003) gjennomsnittlig densitet på 403 kg/m^3 , e-modul på $13,1 \text{ kN/mm}^2$ og bøyefasthet på $30,1 \text{ N/mm}^2$.

4.2. Sammenligning med Nagodas resultater

Datamaterialet til Nagoda bestod av 24 trær fra Nordland og Troms, gruppert i regionene Troms, Salten og Helgeland. Det ble imidlertid bare tatt ut 1-2 prøvetrær per felt, og middelverdiene er beregnet på bakgrunn av enkeltrær tatt ut på flere lokasjoner innad i hver region. Metodikken for utvelgelse av prøvetrærne er ikke beskrevet, og det er derfor vanskelig å si om trærne beskriver bestandene de er hentet fra. Det er derfor usikkert om den samme metodikken for utvelgelse av prøvetrærne ble benyttet i alle bestand. Egenskapene til hvert tre er registrert og publisert, men både densitet og mekaniske egenskaper kan variere betydelig mellom trær innad i bestand (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2016).

Basert på trevariablene Nagoda publiserte, ble det i forprosjektet gjennomført simuleringer av et datasett som var sammenlignbart med Nagoda (1985). Forprosjektet bruke simuleringmodeller fra Vestøl et al. (2020) utvidet med variabler på trenivå (Vestøl, 2022). Det lave antallet planker gjorde at tilfeldige effekter fikk store utslag og skapte store variasjoner i egenskapene mellom ulike simuleringer (Vestøl, 2022). Funnene underbygger at det kan knyttes betydelig usikkerhet til middelverdiene som Nagoda (1985) presenterer i sin undersøkelse (Tabell 18).

Tabell 18: Densitet, e-modul og bøyefasthet for regionene Helgeland, Salten og Troms hentet fra Nagoda (1985).

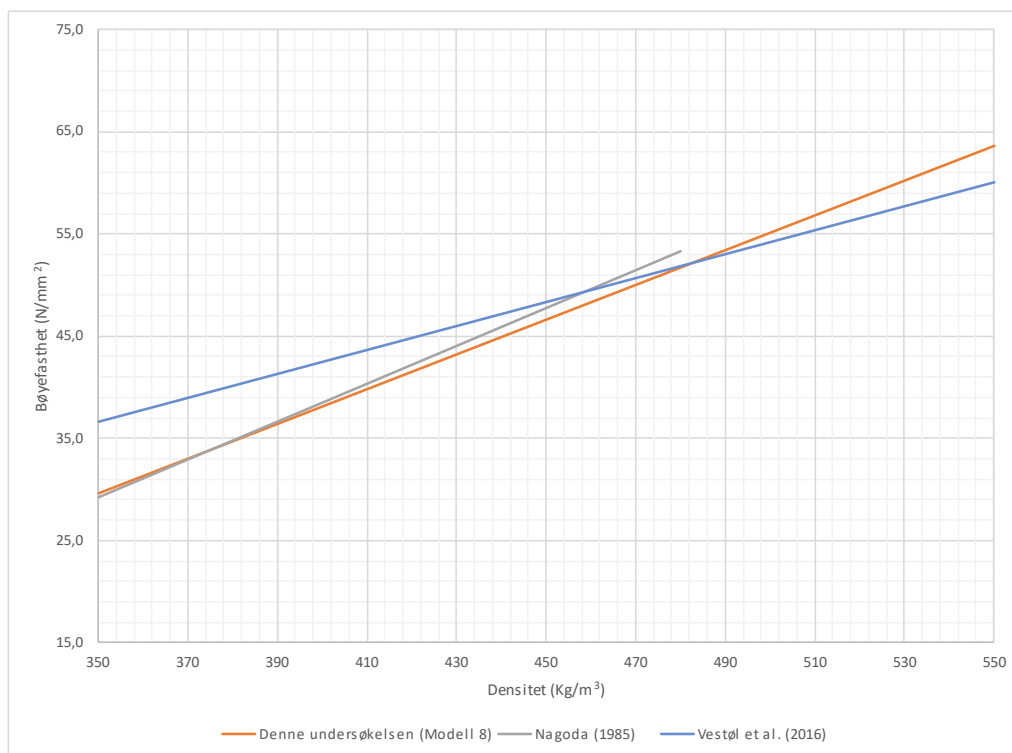
Region	N	Densitet ₁₂ (kg/m ³)	E-modul (kN/mm ²)	Bøyefasthet (N/mm ²)
Troms	86	398	8,1	37,4
Salten	54	396	7,9	35,5
Helgeland	52	429	9,8	47,4
Alle	192	406	8,5	39,6

Gjennomsnittsverdien for densitet for materialet som ble samlet inn i denne studien var på 430 kg/m³ (Tabell 7). Dette er høyere enn det Nagoda (1985) fant i sin undersøkelse, der gjennomsnittet for hele materialet var 406 kg/m³ (Tabell 18). Gjennomsnittlig densitet for hele materialet til Nagoda (1985) er på nivå med det denne studien fant i Alta, som var bestanden i denne studien med lavest gjennomsnittlig densitet. Den gjennomsnittlige densiteten i denne studien er på nivå med det Nagoda (1985) fant i Helgeland, som er den sørligste regionen i undersøkelsen, og den høyeste gjennomsnittlige verdien i Nagoda (1985) sin undersøkelse.

Ettersom densiteten i denne undersøkelsen er høyere enn det Nagoda (1985) fant, vil vi forvente høyere e-modul og bøyefasthet (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012). Dette er imidlertid bare for e-modul at verdiene for alle felter i denne undersøkelsen er høyere enn det Nagoda (1985) fant. Gjennomsnittlig e-modul i regionene til Nagoda (1985) var 8,5 kN/mm² og i denne undersøkelsen ble gjennomsnittlig e-modul 12 kN/mm². Gjennomsnittlig e-modul fra Bardu, Beiarn og Hattfjelldal er alle høyere enn det Nagoda (1985) fant i Troms, Salten og Helgeland. Nagoda (1985) fant høyest gjennomsnittlig e-modul i Helgeland.

Bøyefastheten er ikke høyere i alle feltene i denne undersøkelsen enn det Nagoda (1985) fant i sine regioner. Bøyefastheten i Bardu er omtrent den samme som Nagoda (1985) fant i Troms, mens bøyefastheten i Hattfjelldal er lavere enn den Nagoda (1985) fant i Helgeland. Den gjennomsnittlige bøyefastheten i Beiarn er imidlertid langt høyere enn det Nagoda (1985) fant i Salten. Som et gjennomsnitt for hele materialet er den gjennomsnittlige bøyefastheten høyere i denne undersøkelsen enn i undersøkelsen til Nagoda (1985).

På Østlandet er det observert positiv effekt av alder (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2020), og det var derfor en hypotese om at den økte alderen på bestandene skulle øke både densitet og de mekaniske egenskapene. Dataene fra forprosjektet fant en økning i både densitet og fiberlengde utover i tverrsnittet, og forventet derfor at dette skulle bidra til å øke styrke og stivhet i trelasten, (Vestøl & Høibø, 2022). I tillegg skulle de økte dimensjonene på trærne gjøre det mulig å produsere trelast med større tverrsnitt, der kvist vil ha mindre betydning for de mekaniske egenskapene. En sammenligning mellom modell 8 og en regresjon mellom bøyefasthet og densitet fra Nagoda (1985) viser imidlertid at forholdet mellom densitet og bøyefasthet er relativt likt i dette materialet og materialet til Nagoda (Figur 19). Ettersom Nagoda (1985) bare registrerte densiteter mellom 350 og 480 kg/m³ er regresjonen bare plottet for denne variasjonen i densitet for å unngå uheldig ekstrapolering. Med den store usikkerheten i denne og Nagodas undersøkelse kan det ikke sies å være noen forskjell på sammenhengene. Sammenhengen er også vist for et større materiale fra Sør-Norge og Trøndelag (Vestøl et al., 2016). Bøyefasthetene fra Vestøl et al. (2016) ligger høyere enn denne undersøkelsen opp til en densitet på 480 kg/m³. Fra 480 kg/m³ ligger kurven fra denne undersøkelsen høyere enn Vestøl et al. (2016), men antallet observasjoner av densitet over 480 kg/m³ i denne undersøkelsen er lavt (Figur 5), og usikkerheten er derfor stor.



Figur 19: Sammenhengen mellom densitet og bøyefasthet fra Nagoda (1985), modell 8 fra denne undersøkelsen og Vestøl et al. (2016).

Funnene styrker teorien til Nagoda (1985) om at sammenhengen mellom bøyefasthet og densitet er ulik mellom gran fra Nord-Norge og resten av landet, og at det er andre faktorer som påvirker forholdet mellom disse egenskapene i studiene. Simuleringene fra forprosjektet støtter også dette (Vestøl, 2022). Det lave antallet i denne studien gjør imidlertid at kurven blir svært

påvirket av eventuelle bestandsforskjeller. Bestandsforskjellene kan både komme av effekter av klima på densitet (Wilhelmsson, 2001), og forskjeller i kvistsetting mellom bestand (Tabell 14). Tynning påvirker kvistsetting og bidrar til å gjøre bestandene homogene med hensyn til egenskapene til enkeltrær, og effekten akkumuleres når bestandene tynnes flere ganger (Pape, 1999). Resultatene på bestandsnivå kan likevel også være svært påvirket av enkeltrær med spesielt små eller store kvister, og resultatet er avhengig av om tynningen utføres som høytynning eller lavtynning (Pape, 1999). Det kan være svært vanskelig å skille de ulike faktorene som påvirker når antallet planker og bestand er lavt, og forsøksopplegget er ufullstendig.

4.3. Variasjon i densitet og mekaniske egenskaper

På grunn av sammenhengen som mange studier finner mellom årringbredde og densitet (Høibø, 1991b; Nylinder & Hägglund, 1954; Vestøl et al., 2012) vil vi i utgangspunktet forvente at variasjonen i densitet følger variasjonen i årringbredde. Denne trenden er ikke klart tilstede i denne undersøkelsen, og er trolig årsaken til at årringbredde ikke hadde noe signifikant effekt på densitet før relativ høyde ble lagt til i modell 1 (Tabell 9). Feltet i Alta har den laveste gjennomsnittlige densiteten, mens Bardu har noe større årringbredde og fremdeles høyere densitet. Hattfjelldal har den laveste gjennomsnittlige årringbredden, men densiteten i Hattfjelldal er lavere enn i Beiarn, der den høyeste gjennomsnittlige densiteten ble funnet (Tabell 7).

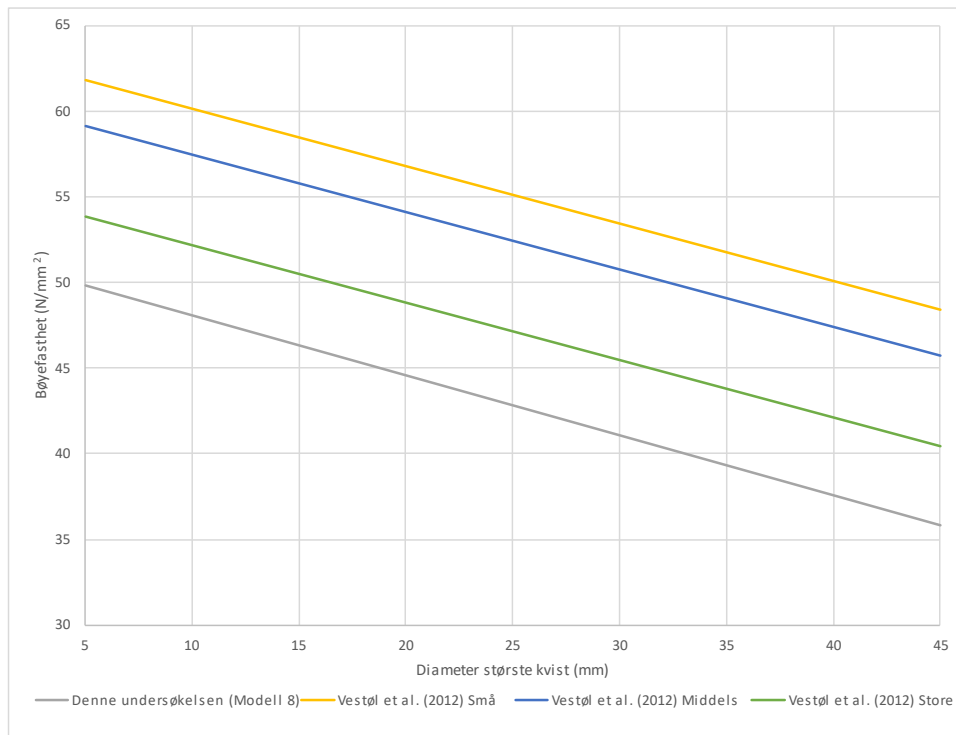
Wilhelmsson (2001) fant at densiteten i gran og furu øker med økende temperatursum. Ettersom temperatursummen er et produkt av høyde over havet og breddegrad, vil vi forvente lavere densitet ved samme årringbredde i feltene som ligger lenger nord og høyere over havet (Kollmann & Côté, 1968; Vestøl et al., 2016; Vestøl et al., 2020; Wilhelmsson, 2001; Wilhelmsson et al., 2002). Av de to feltene i Troms og Finnmark er den gjennomsnittlige densiteten lavere i Alta enn i Bardu, der Alta ligger lengre nord men Bardu ligger noe høyere over havet. Av de to feltene i Nordland er densiteten høyere i Beiarn enn i Hattfjelldal, der Beiarn ligger lengst nord. Feltet i Hattfjelldal ligger lengst sør av alle feltene, men langt høyere over havet enn de resterende feltene. Den positive effekten av lavere breddegrad på forholdet mellom densitet og årringbredde kan derfor motvirkes av en negativ effekt av økende høyde over havet for feltet i Hattfjelldal. Selv om hverken breddegrad eller høyde over havet slo ut som signifikant effekt på densitet, er det trolig en negativ påvirkning på densitet av økt høyde over havet. Feltet i Beiarn ligger nederst i en dal og kan dermed ligge lunt til med tanke på vind- og solforhold. Dette kan skape lokale værforhold med høye gjennomsnittlige temperaturer i bestandet, på tross av at det ligger lengre nord. Variasjon i klima kan derfor bidra til å forklare variasjonen i forholdet mellom årringbredde og densitet. Alle disse betraktningene blir imidlertid bare spekulasjoner, ettersom det ikke er gjort noen målinger eller beregninger av temperatur, og ingen av disse sammenhengene er bekreftet statistisk.

Det er flere observasjoner av densiteter på 500 kg/m^3 og høyere ved årringbredder mellom 1,5 og 2 mm (Figur 7). Dette er på nivå med det som blir observert på Østlandet (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012). Det kan være flere årsaker til de høye densitetene, men tennar i prøvebitene er en mulig årsak. Tennar er ved dannet på trykksiden av treet, og har andre egenskaper enn resten av veden. S3-laget mangler og i likhet med ungdomsveden er mikrofibrillvinkelen i S2-laget stor. Densiteten er høyere enn i vanlig ved, men fibreene er kortere. Den store vinkelen på mikrofibrillene gir stor lengdekrymping i tennarveden, og dette gir krok på trelasten ved tørking (Shmulsky & Jones, 2019). Det ble forsøkt å unngå tennar ved uttak av de små prøvene for testing av densitet, men det var forekomster av krok blant plankene, og dette kan indikere forekomster av tennar. Enkelte av plankene fikk brudd over så store deler av lengden ved testing av bøyefasthet, at det var begrensede muligheter for hvor stykkene kunne tas ut. Det kan derfor ikke utelukkes at det kan ha forekommet tennarved i prøvestykkene, og dette kan ha gitt verdier for densitet som er høyere enn det helt feilfritt trevirke ville hatt. På tross av høyere densitet i tennarveden er de mekaniske egenskapene i tennarveden svært dårlig (Shmulsky & Jones, 2019).

Både e-modul og bøyefastheten påvirkes av kvist, og en økning i kvistdiameter reduserer både e-modul (Tabell 10) og bøyefasthet (Tabell 11). Kvisten skaper fiberforstyrrelser, og de mekaniske egenskapene avtar med med økende fibervinkel (Kollmann & Côté, 1968). Kvistene skaper også et hull i strukturen, men effekten av fiberforstyrrelsene er langt større enn effekten av hullet (Shmulsky & Jones, 2019). Ved samme kvistdiameter vil imidlertid bøyefastheten og e-modulen være lavere dersom densiteten er lavere. Dette er vist i figur 20, der sammenhengen mellom bøyefasthet og kvistdiameter er vist fra denne undersøkelsen (Modell 8, Tabell 11) og sammenlignet med et datamateriale fra Hurdalen på Østlandet (Vestøl et al., 2012). Modellene fra Vestøl et al. (2012) ble fordelt på kategorier med små, middels og store trær (Figur 20). Bøyefastheten lå høyere for de minste trærne, og nivået lå lavere for middels og lavest for de største trærne. Forskjellen mellom klassene skyldes effekten av dominans, og hvordan økt vekst gir lavere densitet og større diameter på kvisten (Høibø, 1991b; Vestøl et al., 2012). For alle de tre størrelsene avtar bøyefastheten med økende kvistdiameter. Kurven for modell 8 fra denne undersøkelsen ligger lavere enn det Vestøl et al. (2012) fant for de største trærne. Som tidligere nevnt, var gjennomsnittlig densitet i Hurdal høyere enn i denne undersøkelsen (Vestøl et al., 2012).

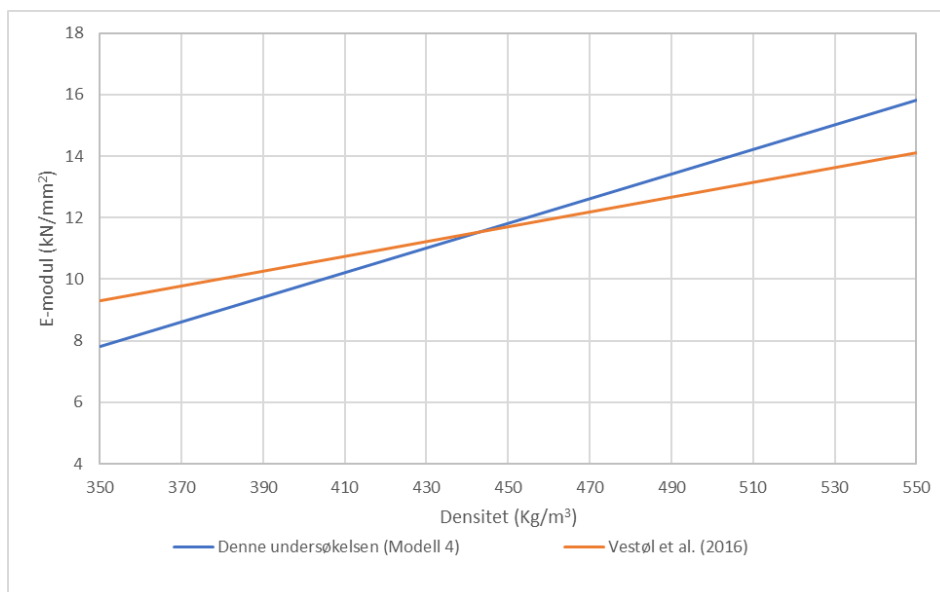
Vestøl et al. (2012) målte også kvistdiameter i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009), men har i modellen ikke skilt på om kvistene var plassert på flatsiden eller kantsiden av planken og kun brukt den største diameteren. En kvist på kantsiden vil gi større reduksjon i bøyefasthet enn en kvist på flatsiden, og en kvist på strekksiden vil gi større reduksjon i bøyefasthet enn en kvist på trykksiden (Kollmann & Côté, 1968; Shmulsky & Jones, 2019). Derfor vil det forventes at bøyefastheten for en gitt kvistdiameter vil være lavere for kantsidekvister, og det er kantsidekvisten som er brukt i modell 8 (Tabell 11). Modellene fra

Vestøl et al. (2012) inneholder både kantsidekvister og flatsidekvister. Dette kan også bidra til at kurven fra denne undersøkelsen ligger lavere enn kurvene fra Vestøl et al. (2012).



Figur 20: Sammenhengen mellom bøyefasthet og diameter på største kvist fra Vestøl et al. (2012) og med modell 8 fra denne undersøkelsen.

I tråd med tidligere studier, viser resultatene fra denne studien at densiteten er den viktigste faktoren for e-modulen, og at e-modulen øker med økende densitet (Tabell 10) (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012). Variasjoner i gjennomsnittlig e-modul mellom bestandene i denne studien følger variasjonen i densitet, der den høyeste densiteten gir høyest e-modul og den laveste densiteten gir lavest e-modul (Tabell 7). E-modulen ved en gitt densitet ligger lavere for denne studien enn Vestøl et al. (2016) fant for et større materiale fra Østlandet og Trøndelag for densiteter lavere enn 440 kg/m^3 (Figur 21). Ved høyere densiteter ligger e-modulen fra denne studien høyere enn Vestøl et al. (2016) fant. Dette støtter hypotesene til Nagoda (1985) om at sammenhengen mellom densitet og de mekaniske egenskapene er annerledes i Nord-Norge sammenlignet med Sør-Norge. Forskjellene kan komme av vinkel på mikrofibriller, fiberlengder og fiberforstyrrelser, eksempelvis forårsaket av kvist (Vestøl, 2022).



Figur 21: Sammenhengen mellom e-modul og densitet fra Vestøl et al. (2016) plottet sammen med modell 4.

Ettersom densiteten påvirker både e-modulen og bøyefastheten, vil effekten av klima på densitet (Kollmann & Côté, 1968; Wilhelmsson, 2001) også kunne påvirke de mekaniske egenskapene fra ulike områder. Foslie og Moen (1968) observerte en trend til at e-modulen ble redusert med høyde over havet innad i regioner for 3''8''. For 2''4'' ble ikke den samme trenden observert. Trenden ble imidlertid ikke statistisk testet. For bøyefasthet ble det statistisk påvist at bøyefastheten avtok med økende høyde over havet innad i regioner for 3''8'', på tross av det ikke var signifikante forskjeller mellom regioner. Forfatterne mener forskjellene delvis kan tilskrives andre faktorer enn høyden over havet, og trekker frem bonitetseffekter som en mulig årsak (Foslie & Moen, 1968). Dette er likevel i samsvar med Chrestin (2000), som fant at det var signifikante forskjeller mellom mekaniske egenskaper mellom trelast av gran fra ulike områder i Sverige. I et materiale fra høytliggende skog i Lappland i Nord-Sverige (64°40'N) fant Chrestin en gjennomsnittlig e-modul på 10,6 kN/mm² og en gjennomsnittlig bøyefasthet på 43,7 N/mm². De mekaniske egenskapene fra sørlige deler av Sverige var bedre enn de fra nord. De beste verdiene ble målt på trelast fra Dalarna (60°40'N), der gjennomsnittlig e-modul ble målt til 13,2 kN/mm² og gjennomsnittlig bøyefasthet til 51,6 N/mm² (Chrestin, 2000). Både funnene til Foslie og Moen (1968) og Chrestin (2000) er i tråd med Wilhelmsson (2001) og viser hvordan de mekaniske egenskapene kan påvirkes gjennom at densiteten reduseres av lavere temperatursum.

I denne studien viste modellene at densiteten økte med økende høyde i stammen (Tabell 9), men tidligere studier viser ingen entydig trend for vertikal variasjon i densitet hos gran. I en studie fra 2016 modellerte Fischer et al. (2016) densitet og mekaniske egenskaper på bakgrunn av et materiale fra 17 felter fra Østlandet og i Trøndelag. Som et gjennomsnitt for hele materialet viste modellene en økning i densitet med økende høyde i treet. For store trær med lang krone på høy bonitet høyt over havet var trenden også en økning i densitet. For små trær med kort grønn krone på både høy og lav bonitet med lav høyde over havet var trenden en vertikal

reduksjon (Fischer et al., 2016). Hverken relativ dbh eller bonitet gav signifikant effekt på densiteten i denne studien, og dette skyldes trolig et lite utvalg bestand. Bestandene i denne undersøkelsen er på lav og middels bonitet. I tillegg ble det bare tatt ut ett tre fra hver diameterklasse i hvert bestand.

Tidligere studier har vist at kvistdiameteren øker med økende høyde i treet opp til et visst punkt, før den avtar mot toppen (Colin & Houllier, 1991; Vestøl & Høibø, 2001; Øvrum et al., 2008). Colin og Houllier (1991) fant at den maksimale kvistdiameteren befant seg i nedre del av den grønne kronen, men at kvistdiameteren var konstant over en større lengde. Vestøl og Høibø (2001) fant at den maksimale kvistdiameteren befant seg mellom den nederste levende greinen og den nederste levende kvistkranen. Den vertikale variasjonen i e-modul og bøyefasthet blir et resultat av kvist og densitet, som begge øker med økende høyde, og har motsatt effekt på e-modul og bøyefasthet. Ettersom kvister hadde mindre effekt på e-modulen enn bøyefastheten, og densiteten økte med økende høyde, kan dette være årsaken til at e-modulen ikke viste noen signifikant variasjon med høyde i treet. Flere tidligere studier har imidlertid funnet at e-modulen avtok med økende høyde i treet, både når de fant en økning og når de fant en reduksjon i densitet med økende høyde (Fischer et al., 2016; Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2016). Kvistene har større effekt på bøyefastheten og dette er trolig årsaken til at bøyefastheten avtar med økende høyde i treet. Tidligere forskning viser også at bøyefastheten avtar med økende høyde (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012).

Den vertikale økningen i densitet kan bidra til å forklare hvorfor den gjennomsnittlige densiteten var høyest for 50×100 mm, etterfulgt av 50×150 mm og 50×200 mm (Tabell 8). Dette skyldes at diameteren avtar med økende høyde i treet, og trelasten tatt ut lenger opp i treet vil derfor bli skåret til mindre tverrsnittsdimensjoner. Derfor vil de store dimensjonene bli tatt ut i nedre del av treet, der densiteten er lavere. I tillegg vil store dimensjoner skjæres fra trær med stor dbh. Dersom alderen på treet er lik vil trær med stor dbh være trær med stor årringbredde. Det vil da kunne forventes at de dominerende trærne har lavere densitet som følge av stor årringbredde (Høibø, 1991b; Nylinder & Hägglund, 1954; Vestøl et al., 2012). Variasjonen i e-modul mellom dimensjonene følger variasjonen i densitet. Denne trenden stemmer overens med funnene til Vestøl et al. (2012). Bøyefastheten følger imidlertid ikke trendene i densitet og e-modul, og er høyest for 50×150, etterfulgt av 50×100 og 50×200 mm (Tabell 8). Verdiene for 50×100 mm ble korrigert ned for å justere for at sannsynligheten for feil er større i planker med større tverrsnitt. I tillegg kan forskjeller mellom kvister i deler av stammen der de ulike tverrsnittene er tatt ut bidra til å forklare forskjellene mellom dimensjonene. 50×100 ble trolig tatt ut fra toppstokker eller stokker fra høye vertikale posisjoner der densiteten er høyere, og kvistdiameteren er liten (Colin & Houllier, 1991; Vestøl & Høibø, 2001). 50×200 mm ble bare tatt ut fra førstestokker fra de største trærne, mens vi kan forvente at 50×150 ble tatt ut fra høyere vertikale posisjoner i store trær eller fra lavere vertikale posisjoner i middels og små trær med høyere densitet og mindre diameter på kvist (Høibø, 1991a; Vestøl & Høibø, 2001). Dette stemmer overens med funnene til Vestøl et al. (2012).

4.3.1. Effekter av skogskjøtsel

Forskjeller i densitet, kviststørrelse og mekaniske egenskaper mellom bestand ser ut til å henge sammen med forskjeller i skogskjøtsel. I bestandet i Bardu ble gjennomført en relativt kraftig tynning rundt 1981, der det ble tatt ut omtrent 30% av grunnflaten per hektar (Figur 2). Etersom middeldiameteren på uttaket var mindre enn middeldiameteren i bestandet (NIBIO, 2024), var tynningen en lavtynning. Ved lavtynning tas de mindre trærne ut, og de gjenstående framtidstrærne blir derfor valgt ut blant de allerede dominerende trærne med stor dbh og lav densitet (Høibø, 1991b; Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012). Dersom man sammenligner lavtynning og høytynning med lik intensitet, er det vist at forskjellene i seleksjonen av trær mellom de to metodikkene fører til forskjeller densitet og kvist i bestandet i etterkant av tynningen (Pape, 1999). Det kan dermed tenkes at seleksjonen av trær i tynningen har bidratt til å redusere den gjennomsnittlige densiteten i prøvetrærne fra bestandet i Bardu. Trærne med stor dbh har også store kvister, ettersom dbh er korrelert med diameter på den største kvisten (Colin & Houllier, 1991; Høibø, 1991b; Vestøl & Høibø, 2001). NIBIO (2024) kategoriserer dette som en sterk tynning, men et skjøtelsesregime med én til to lavtynninger med et uttak som tilsvarer 20-30% av grunnflaten er likevel dominerende i granskog i Fennoskandia (Pape, 1999). En økning i diametertilvekst som følge av tynningen kan ha redusert den gjennomsnittlige densiteten i bestandet noe, samtidig som de store kvistene har fortsatt å vokse på grunn av fristillingen. Dette kan være årsaken til at Bardu hadde de største gjennomsnittlige kvistene (Tabell 14), og at gjennomsnittlig e-modul og bøyefasthet er på nivå med det som observeres i bestandet i Alta, på tross av at den gjennomsnittlige densiteten er høyere i Bardu (Tabell 7).

Den motsatte effekten av tynningen er trolig den som observeres i Beiarn. Forsøksfeltet har blitt tynnet flere ganger (Figur 2), hvorav de tre siste uttakene var høytynninger. De to nest siste uttakene var på henholdsvis 24 og 33% av grunnflaten og dermed relativt kraftige. Som det motsatte av lavtynning, vil høytynning selektere framtidstrærne blant trærne med lav dbh og dermed høy densitet og små kvister (Colin & Houllier, 1991; Høibø, 1991b; Vestøl & Høibø, 2001). Effekten av seleksjonen som foretas i tynningene er vist å akkumulere når det gjennomføres flere tynninger med samme metodikk (Pape, 1999). Høytynningene kan dermed være en medvirkende årsak til at bestandet i Beiarn hadde de minste gjennomsnittlige diameterne på kvister (Tabell 14), og de høyeste gjennomsnittlige verdiene for både densitet, e-modul og bøyefasthet (Tabell 7).

Bestandet i Alta kan se ut til å ha blitt tynnet lett én gang, men har fått utvikle seg fritt etter dette (NIBIO, 2024). I en svensk studie fra 1999 fant Pape (1999) små forskjeller i densitet når han sammenlignet svak lavtynning med 20% uttak av grunnflate og utynnende flater. Dette kan både tolkes som at det vil være de samme trærne som vil dominere i bestandet dersom det ikke tynnes eller svakt lavtynnes, og det kan tolkes som at tynning med 20% uttak i grunnflate ikke gir så kraftig tynningsrespons at densiteten går ned sammenlignet med utynnet. Den gjennomsnittlige densiteten i det utynnede feltet var likevel nest høyest, og bare høytynning

hadde høyere gjennomsnittlig densitet (Pape, 1999). Basert på funnene til Pape (1999) vil i utgangspunktet forvente at skogbehandlingen i bestandet i Alta ikke har påvirket densiteten negativt, ettersom utynnede bestand har høyere bestandstetthet, lavere gjennomsnittlig dbh og dermed liten årringbredde. Undersøkelsen til Pape (1999) fant at diameteren på største kvisten i forhold til diameteren var størst i utynnede bestand, men dette kommer av at diametertilveksten i de tynnede bestandene øker og gjør at dbh øker mer enn kvistdiameteren i de tynnede bestandene. Det utynnede feltet hadde den korteste grønne kronen, som et resultat av høyere tetthet (Pape, 1999). Den gjennomsnittlige diameteren på kant- og flatsidekvist i Alta er på nivå med Beiarn og Hattfjelldal, men den gjennomsnittlige diameteren på kvistgruppe er likevel større (Tabell 9). Dette kan tyde på at antallet kvister er høyere eller at kvistene sitter tettere. Bestandet i Alta har lavest bonitet og det kan derfor forventes at dette bestandet har den korteste toppskuddlengden og avstand mellom kvistkransene (Tveite, 1977). For at kvistene skal inngå som kvistgruppe må de likevel være nærmere enn 100 mm (Standard Norge, 2009). Store kvistgrupper vil bidra negativt til de mekaniske egenskapene i materialet fra Alta (Modell 5: Tabell 10, Modell 11: Tabell 11).

Alle de tre behandlingene i Hattfjelldal er lavtynninger. Foruten at lavtynning med uttak på 20% av grunnflate ikke reduserte densiteten sammenlignet med utynnet, fant Pape (1999) at økende tynningsintensitet gav lavere gjennomsnittlig densitet og økende årringbredde. Uten å vite hvilken av tynningene som ble gjennomført der prøvetrærne ble tatt ut, er det vanskelig å fastslå hvordan og hvor mye trærne er påvirket av skogbehandlingen. Sammenlignet med den svakt tynnede, vil den middels kraftige og kraftige tynningen bidra til å redusere gjennomsnittlig densitet og øke gjennomsnittlig årringbredde (Pape, 1999). De små diameterne på kvistene i plankene fra Hattfjelldal (Tabell 9) kan tyde på at prøvetrærne er hentet ut fra delen av bestandet som er tynnet i minst grad. Hadde prøvetrærne blitt hentet ut fra delene som har lavtynnet med større uttak ville trolig kvistene hatt større diameter sammenlignet med den svakeste tynningen (Pape, 1999), og dette ville redusert de mekaniske egenskapene (Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012). Alle uttakene i den svakeste tynningen er mindre enn 4% reduksjon i grunnflate, og er dermed svært nære et utynnet bestand.

4.4. Visuell styrkesortering etter NS-INSTA 142

Fordelingen av sorteringsklasser med stokknummer er påvirket av forskjeller mellom trær fra ulike stokker (Tabell 13) og fra de ulike feltene (Tabell 12), ettersom antallet stokker som var mulig å ta ut fra hvert tre varierte og antallet planker som ble tatt ut fra hver stokk varierte (Tabell 3). De statistiske analysene er også usikre som følge av lavt antall planker i mer enn 20% av rutene. I tillegg var det tilfeller av gankvister som er en effekt av en forstyrrelse av treets vekst, og derfor ikke nødvendigvis representerer vekstforholdene i bestandet. Resultatene viser likevel at den generelle trenden er at sorteringen blir dårligere med økende høyde i treet. Dette er i tråd med tidligere studier (Høibø, 1991b; Øvrum et al., 2008).

Årsaken til at trelastkvaliteten avtar med økende høyde kan knyttes til den vertikale variasjonen i kvistdiameter (Høibø, 1991b; Vestøl & Høibø, 2001; Øvrum et al., 2008). Alle plankene hadde konstant tykkelse, og dermed var kravet til kantsidekvist likt for alle tre dimensjonene som ble testet. Derfor vil den vertikale trenden for nedklassing som følge av kantsidekvist bare påvirkes av kvistdiameter. Den vertikale trenden for nedklassing som følge av flatsidekvist og kvistgruppe vil imidlertid påvirkes av både plankedimensjon, kvistdiameter og kvistantall. I stokkene nærmere rotenden, der det tas ut planker med større tverrsnitt, vil det tillates større kvister (Øvrum et al., 2008). I kvistgrupper inngår både kvister på flat- og kantsiden av planken (Standard Norge, 2009). Ettersom det er vanskelig å ta hensyn til kvister ved planlegging av skurutaket, vil det forekomme tilfeldig variasjon i den vertikale fordelingen av sorteringsklassene som følge av variasjon i hvor kvistene havner i trelasten (Øvrum et al., 2008).

4.4.1. Egenskaper til trelasten i sorteringsklasser i henhold til NS-INSTA 142

Gjennomsnittlig e -modul og bøyefasthet er økende med høyere sorteringsklasse, og dette tyder på at den visuelle sorteringen av kvist fanger opp variasjon i de mekaniske egenskapene. Variasjonen i densitet er imidlertid ikke jevnt økende med økende sorteringsklasse, da den gjennomsnittlige densiteten i T1 er høyere enn både T0 og T2. Den gjennomsnittlige densiteten er imidlertid høyest i T3. Plankene som ble sortert til T1 er hovedsak tredje- og fjerdestokker (Tabell 13). Ettersom densiteten steg med økende relativ høyde, vil disse stokkene være tatt ut i posisjoner i treet der vi forventer høyere densitet. Dette kan også tenkes å være toppstokker tatt ut fra de mindre trærne, og ettersom dbh er vist å være negativ korrelert med densitet (Høibø, 1991a; Vestøl et al., 2012), vil plankene da være tatt ut fra stokker fra trærne med høyere densitet. Den største andelen av plankene som ble sortert til T1 hentet ut fra Bardu (Tabell 12), der den gjennomsnittlige densiteten er tilnærmet lik den gjennomsnittlige densiteten for hele materialet. Samtidig er 32% av plankene som ble sortert til T1 fra Beiarn og Hattfjelldal, der gjennomsnittlig densitet var høyest i dette materialet (Tabell 7). T2 og T2+T3 er de eneste sorteringsklassene der alle bestand er tilnærmet jevnt representert. De gjennomsnittlige verdiene for alle egenskapene i T2+T3 ligger som forventet mellom T2 og T3, ettersom T3 lå høyere enn T2.

4.4.2. Karakteristiske verdier

Nagoda (1985) konkluderte i sin undersøkelse med at visuell sortering av gran fra Nord-Norge ikke gav tilfredsstillende styrke, og at visuell sortering derfor ikke var egnet for sortering av gran fra Nord-Norge. Det samme fant Eikenes (1991) for gran fra Vestlandet. Eikenes (1991) viste for sitt datamateriale at dersom den visuelle styrkesorteringen ble ilagt strenge krav om maksimal årringbredde, ville dette bidra til bedre samsvar mellom sorteringsklassene og de mekaniske egenskapene for beregning av de karakteristiske verdiene. NS-INSTA-142 har krav til årringbredde i sine sorteringsklasser, men målingene viste at de gjennomsnittlige

årringbreddene for alle plankene var mindre enn 4 mm (Figur 8). Alle plankene var derfor innenfor kravet til årringbredde for T3, som er på 4 mm (Standard Norge, 2009). Dermed ville ikke det eksisterende kravet til årringbredde i INSTA 142 være nok til å fange opp planker med lavere densitet og dårligere mekaniske egenskaper.

Densiteten i hver sorteringsklasse holder likevel kravet til karakteristisk verdi for alle fasthetsklasser utenom T3 for C30. At den karakteristiske verdien for densitet ikke oppfyller kravet for C30 kan trolig skyldes et lavt antall planker ($N=13$) og stort standardavvik. På grunn av det lave antallet planker blir sorteringsklassen ilagt en stor korreksjon, og sammen med et stort standardavvik, kan dette være årsaken til at den karakteristiske verdien blir lavere enn kravet og lavere enn den ordinære 5-persentilen. Dette på tross av at den gjennomsnittlige densiteten var høyest for T3 (Tabell 15). Når T2 ble slått sammen med T3, holdt den karakteristiske densiteten for T2+T3 kravet til C24. Forskjellene i karakteristisk densitet mellom fylkene var små, og trelasten fra begge fylkene holdt kravet til karakteristisk verdi densitet i T1 for C18 og T2 for C24. Trelasten fra Troms og Finnmark hadde noe høyere karakteristisk densitet for T1 og T2 enn trelasten fra Nordland, på tross av at den gjennomsnittlige densiteten var høyere i Nordland enn i Troms og Finnmark for både T1 og T2. For T2+T3 er både de gjennomsnittlige og de karakteristiske densitetene, høyere for Nordland enn for Troms og Finnmark. Funnene er i tråd med Høibø (1991b), som skrev at utfordringer med lav densitet i større grad er et problem på høye boniteter, mens grove kvister kan opptre uavhengig av bonitet.

E-modulen for hver sorteringsklasse holdt kravene til karakteristisk verdi for alle fasthetsklassene. Dette gjaldt også for T1 og T2 for regionene Nordland og Troms og Finnmark. For e-modul ligger den karakteristiske verdien høyere for Nordland enn for Troms og Finnmark både for T1 og T2, på tross av at den karakteristiske densiteten er høyere i Troms og Finnmark enn i Nordland. Forskjellene mellom de karakteristiske densitetene er imidlertid små (Tabell 17). Den karakteristiske verdien for e-modul beregnes i utgangspunktet som en ren gjennomsnittsverdi, men i henhold til NS-EN 14358 ble det besluttet å beregne konfidensintervall for å ta hensyn til usikkerhet. Ettersom de karakteristiske verdiene for e-modul beregnes som nedre grense i et 75%-konfidensintervall for gjennomsnittsverdien, blir ikke korreksjonen for usikkerhet like stor som for beregning av den karakteristiske 5-persentilen for densiteten og bøyefastheten. Derfor vil ikke det lave antallet i sorteringsklassene påvirke den karakteristiske e-modulen i samme grad, og lettere oppfylle kravet til karakteristisk verdi. Vestøl et al. (2020) fant i sine simuleringer at det var flere bestand som oppfylte kravene til karakteristisk e-modul enn karakteristisk bøyefasthet, særlig når man tok sikte på sortere ut høye styrkeklasser.

For bøyefasthet holdt de karakteristiske verdiene for sorteringsklassene kravene til alle fasthetsklassene, utenom T1 for C18. Den karakteristiske bøyefastheten for T1 var $1,1 \text{ N/mm}^2$ lavere enn kravet på 18 N/mm^2 , og dette er en del lavere enn 5-persentilen på $22,2 \text{ N/mm}^2$. T1 hadde imidlertid det største standardavviket for bøyefasthet og dette kan bidra til å forklare hvorfor T1 ikke oppfylte kravet til karakteristisk bøyefasthet. De karakteristiske verdiene for bøyefasthet beregnet med parametrisk metode for T2+T3 er lavere enn for T2, men oppfyller kravet til C24. Dette er trolig fordi standardavviket øker samtidig som gjennomsnittet for bøyefasthet for den sammensatte sorteringsklassen, og endringen i korreksjon som følge av økningen i antall er minimal. Den karakteristiske verdien for T0 og T3 er usikker, på grunn av det lave antallet.

Fordelingen på fylke viser at den karakteristiske bøyefastheten for plankene fra Troms og Finnmark var lavere enn plankene fra Nordland for T1. Den største andelen av plankene fra T1 var fra Bardu (Tabell 12), der det var mange og svært store kvister sammenlignet med de øvrige bestandene (Tabell 14). Det er trolig plankene fra Bardu som bidrar til å redusere den gjennomsnittlige bøyefastheten for T1, og gjør at T1 fra Troms og Finnmark og sorteringsklasse T1 som helhet ikke oppfyller kravet til karakteristisk bøyefasthet for C18. Den karakteristiske bøyefastheten for T2 og T2+T3 er også høyere for plankene fra Nordland enn fra Troms og Finnmark. Dette kan trolig knyttes til lavere gjennomsnittlig densitet i plankene i fra Nordland enn fra Troms og Finnmark for T2 og T2+T3. Både plankene fra Nordland og Troms og Finnmark fra T2 og T2+T3 holdt likevel kravet karakteristisk bøyefasthet for C24.

Totalt sett er det sorteringsklassene T0, T2 og T2+T3 som oppfyller kravene til både karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet. Selv om den parametriske metoden er tillatt å benytte på partier med mindre enn 40 planker, gir det likevel stor usikkerhet for klasse T0. Dermed er det bare for T2 og T2+T3 at det, med en viss grad av sikkerhet, kan sies at oppfyller kravene til karakteristisk densitet, e-modul og bøyefasthet for C24.

5. Konklusjoner

Denne oppgaven baserer seg på et begrenset antall planker skåret fra trær som ble hentet ut fra et begrenset antall forsøksbestand i Nord-Norge. Effektene av skogbehandling i forsøksfeltene er ikke analysert statistisk, men det er grunn til å tro at det kan ha hatt innvirkning på densitet og de mekaniske egenskapene til trelasten fra bestandene. Sammen med det lave antallet bestand i studien gjør dette at materialet nok ikke er representativt for gran i Nord-Norge.

Nivået for densitet og mekaniske egenskaper ligger generelt lavere enn det som blir observert på Østlandet (Foslie & Moen, 1968; Høibø et al., 2014; Vestøl et al., 2012; Vestøl et al., 2016), men høyere enn det som blir observert på Vestlandet (Eikenes, 1991; Vestøl et al., 2001). Bestandene i Beiarn og Hattfjelldal har mekaniske egenskaper som er på nivå med det som observeres på Østlandet, på tross av noe lavere densitet. Dette er motsatt av funnene til Nagoda (1985), som fant lavere mekaniske egenskaper ved samme densitet.

Det var en hypotese at de mekaniske egenskapene har blitt bedre med økende alder, ettersom det er observert positiv effekt av alder i konstruksjonsvirke på Østlandet (Høibø et al., 2014). Denne undersøkelsen gjøres på et begrenset materiale samlet inn fra forsøksfelt, men undersøkelsen til Nagoda (1985) ble også gjennomført med materiale fra forsøksfelt. Både gjennomsnittlig densitet og e-modul fra feltene i denne undersøkelsen er høyere enn det Nagoda (1985) fant for regionene i sin undersøkelse. Bøyefastheten i Bardu var omtrent lik det Nagoda (1985) fant i Troms, mens bøyefastheten i Hattfjelldal var lavere enn Nagoda (1985) fant i Helgeland. Bøyefastheten i Beiarn var langt høyere enn Nagoda (1985) fant i Salten. Gjennomsnittlig densitet, e-modul og bøyefasthet for hele dette materialet er høyere enn det Nagoda (1985) fant, og det tyder på at densiteten og de mekaniske egenskapene har økt siden Nagoda (1985) foretok sine undersøkelser.

Den visuelle styrkesorteringen etter NS-INSTA 142 viste at trelastkvaliteten avtok med økende høyde i treet, og gav flest planker i T2, etterfulgt av T1, T3 og T0. Gjennomsnittlig densitet, e-modul og bøyefasthet i sorteringsklassene tyder på at den visuelle styrkesorteringen fanger opp variasjon i mekaniske egenskaper som følge av kvist. Med unntak av densitet i T3 for C30 og bøyefasthet i T1 for C18, var alle de øvrige karakteristiske verdiene oppfylt. På grunn av lavt antall blir verdiene svært sensitive for utvalget og derfor svært usikre. Klassene T2 og T2+T3 oppfylte kravene til C24, som de eneste klassene der de karakteristiske verdiene ble oppfylt med et større antall planker.

Resultatene gir positive indikasjoner på densitet, e-modul og bøyefasthet fra gran fra Nord-Norge og egnetheten som konstruksjonsvirke. Usikkerheten i denne studien er imidlertid stor på grunn av det lave antallet prøver, og det er derfor behov for flere og større undersøkelser av gran fra Nord-Norge for å se hvordan egenskapene varierer og hvordan dette påvirker egenskapene til nordnorsk gran som konstruksjonsvirke.

Fremtidige undersøkelser som ønsker verdier for densitet og mekaniske egenskaper som er representative for konstruksjonsvirke fra den ordinære skogen i Nord-Norge bør i større grad ta sikte på å finne egnede bestand som ikke er forsøksfelter. Like fullt kan det være interessant å samle inn et større datamateriale basert på forsøksfelter for å studere hvordan skogbehandlingen påvirker gran i Nord-Norge, og se om klimaet påvirker effektene av skogbehandlingen.

6. Referanser

- Anonym. (2020). *Handelssortering av trävaror*: Svenskt Trä, Svenskt Trätekniskt Forum, Finlands Sågindustrimannaförening og Treindustriens Tekniske Forening, Norge. Tilgjengelig fra: <https://www.svensktra.se/siteassets/5-publikationer/pdfer/handelssortering2020.pdf> (lest 22.02.2024).
- Byggteknisk forskrift. (2017). *Forskrift om tekniske krav til byggverk av 19.06.2017*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840> (lest 15.02.2024).
- Chrestin, H. (red.). (2000). *Mechanical properties and strength grading of Norway spruce timber of different origins*. Utvalgte artikler fra World Conference on Timber Engineering. Whistler resort, British Columbia, Canada.
- Colin, F. & Houllier, F. (1991). Branchiness of Norway spruce in north-eastern France—modeling vertical trends in maximum nodal branch size. *Annales des Sciences Forestières*, 48 (6). doi: 10.1051/forest:19910606.
- Dynalyse. (u.å.). *Dynagrade - Timber strenght grading*. Tilgjengelig fra: <https://dynalyse.com/products/machine-strength-grading/dynagrade/> (lest 16.02.2024).
- Eikenes, B. (1991). *Egenskaper hos gran (Picea abies (L.) Karst.) fra Vestlandet målt på trelast i hele dimensjoner = Properties of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) from Western Norway tested on timber in structural sizes*. Properties of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) from Western Norway tested on timber in structural sizes. Ås: Norges landbrukshøgskole, Institutt for skogfag.
- Fischer, C., Vestøl, G. I. & Høibø, O. (2016). Modelling the variability of density and bending properties of Norway spruce structural timber. *Canadian Journal of Forest Research*, 46 (7): 978-985. doi: 10.1139/cjfr-2016-0022.
- Forskningsrådet. (u.å.). *Trelast med høyere styrke og stivhet - Tresterk*. Tilgjengelig fra: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/208085> (lest 03.01.2024).
- Foslie, M. & Moen, K. (1968). *Norsk granvirkes styrkeegenskaper. I. Bøyestyrke, elastisitetmodul og strekkstyrke målt på 3"x8" og 2"x4" [Strength properties of Norwegian Spruce. I. Bending strength, modulus of elasticity and tensile strength tested on the structural sizes 3"x8" and 2"x4"]*, b. vol 33. Oslo: NTI.
- Hanhijärvi, A., Ranta-Maunus, A. & Turk, G. (2005). *Potential of strength grading of timber with combined measurement techniques: Report of the Combigrade-project - Phase I*. VTT Publications 568. Finland: ESPOO. Tilgjengelig fra: <https://publications.vtt.fi/pdf/publications/2005/P568.pdf> (lest 05.01.2024).
- Hylen, G., Fernández, C. A. & Granhus, A. (2023). *Skogressurser i Norge: Status og framtidsscenarier for 6 regioner*. NIBIO rapport 2023 (9) 40. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/3057495>.
- Høibø, O. (1991a). Sammenhegen mellom objektivt målbare egenskaper på skurlast og planteavstand hos gran (Picea abies (L.) Karst.). I: *Virkeskvaliteten til gran (Picea abies (L.) Karst) plantet med forskjellig avstand*, s. 75-135. Ås: Norges landbrukshøgskole.
- Høibø, O. (1991b). *Virkeskvaliteten til gran (Picea abies (L.) Karst) plantet med forskjellig avstand*. Doktoravhandling. Ås: Norges Landbrukshøgskole. Tilgjengelig fra: <https://bibsok.no/?mode=p&tnr=252864> (lest 18.02.2024).
- Høibø, O., Vestøl, G., Fischer, C., Fjeld, L. & Øvrum, A. (2014). Bending properties and strength grading of Norway spruce: variation within and between stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 44. doi: 10.1139/cjfr-2013-0187.
- Jyske, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. (2008). Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica*, 42 (3). doi: 10.14214/sf.248.

- Kollmann, F. & Côté, W. (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Kucera, B. (1994). A hypothesis relating to annual height increment to juvenile wood formation in Norway spruce. *Wood and Fiber Science*, 26 (1): 152-167.
- Larson, P. R. (1969). *Wood formation and the concept of wood quality*. Bulletin Series, b. 74. New Haven: Yale School of Forestry & Environmental Studies.
- Lindström, H. (2002). Intra-tree models of juvenile wood in Norway spruce as an input to simulation software. *Silva Fennica*, 36. doi: 10.14214/sf.542.
- Nagoda, L. (1985). *Styrkeegenskaper hos gran (Picea abies (L.) Karst.) fra Nord-Norge målt på trelast i hele dimensjoner*. Ås: Norsk Institutt for skogforskning (NISK).
- NIBIO. (2024). *Foreløpig meddelelse fra Landsskogtakseringen - Langsiktige feltforsøk*. Upublisert manuskript.
- Nygaard, G. (2003). *Virkeskvalitet på skogreisingsgran i Nordland*. Tilgjengelig fra: <https://www.nb.no/items/759fff5aaeb7a6c5049a6a9cdff00e6c?page=3&searchText=virkeskvalitet%20p%C3%A5%20skogreisingsgran%20i%20Nordland> (lest 23.02.2024).
- Nylinder, P. & Hägglund, E. (1954). *Ståndorts-och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfittmassa av gran*. Meddelanden från statens skogsforskningsinstitut. 44:11. Tilgjengelig fra: <https://res.slu.se/id/publ/125129> (lest 03.01.2024).
- Olesen, P. O. (1982). The effect of cycophysis on tracheid length width and basic density. *Forest Tree Improvement* (15): 80.
- Pape, R. (1999). Effects of Thinning Regime on the Wood Properties and Stem Quality of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (1): 38-50. doi: 10.1080/02827589908540807.
- Plan- og bygningsloven. (2008). *Lov om planlegging og byggesaksbehandling av 27.06.2008*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71?q=pbl> (lest 15.02.2024).
- QGIS Development team. (2020). *QGIS* (Versjon 30.10.9 - A Coruña). Programvare. Tilgjengelig fra: <https://www.qgis.org/en/site/index.html> (lest 09.02.2024).
- Ranta-Maunus, A., Denzler, J. K. & Stapel, P. (2011). *Strength of European Timber Part 2. Properties of spruce and timber tested in Gradewood Project*. VTT Publication 179. Espoo, Finland.
- Repola, J. (2006). Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density. *Silva Fennica*, 40. doi: 10.14214/sf.322.
- SAS Institute Inc. (2021). *JMP Pro* (Versjon 16.0.0). Programvare. Tilgjengelig fra: <https://www.jmp.com> (lest 03.01.2024).
- Shmulsky, R. & Jones, D. P. (2019). *Forest products and wood science - An introduction*. 7 utg. West Sussex: Wiley Blackwell.
- SSB. (2024). *Skogavvirkning for salg*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogavvirkning-for-salg> (lest 13.02.2024).
- Standard Norge. (2009). *NS-INSTA 142:2009 - Nordic visual strength grading rules for timber*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/ns-insta-142-2009> (lest 09.01.2024).
- Standard Norge. (2012a). *NS-EN 408:2010+A1:2012: Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/ns-en-408-2010a1-2012> (lest 08.01.2024).
- Standard Norge. (2012b). *NS-EN 1912:2012 Structural Timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-1912-2012> (lest 15.02.2024).
- Standard Norge. (2016a). *NS-EN 338:2016 Structural timber - Strength classes*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-338-2016> (lest 06.02.2024).

- Standard Norge. (2016b). *NS-EN 14358:2016 Trekonstruksjoner - Beregning og verifisering av karakteristiske verdier*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-14358-2016> (lest 02.02.2024).
- Standard Norge. (2022). *NS-EN 384:2016+A2:2022 Konstruksjonsvirke Bestemmelse av karakteristiske verdier for mekaniske egenskaper og densitet*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/ns-en-384-2016a2-2022> (lest 08.01.2024).
- Tveite, B. (1977). Bonitetskurver for gran. *Meddelelser fra Norsk Institutt for skogforskning.*, 1-84 pp.
- Vadla, K. (2008). *Virkesegenskaper hos bartrevirke fra forskjellige lokaliteter i Nord-Norge - densitet, avsmaling, bark og kjerneved*. Forskning fra Skog og landskap; 9/08. Tilgjengelig fra: <http://hdl.handle.net/11250/2484938> (lest 07.03.2024).
- Vestøl, G. & Høibø, O. (2022). *Gran i nord - Egenskaper til konstruksjonsvirke av gran fra Troms og Finnmark og Nordland, et forprosjekt*. Upublisert manuskript.
- Vestøl, G. I. & Høibø, O. A. (2001). Prediction of knot diameter in *Picea abies* (L.) Karst. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 59 (1): 129-136. doi: 10.1007/s001070050484.
- Vestøl, G. I., Høibø, O. A., Slotnæs, T. H. & Værnes, K. (2001). *Egenskaper til trelast med store dimensjoner fra grov gran på Vestlandet*. Rapport fra skogforskningen; 1/01. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2733609> (lest 22.02.2024).
- Vestøl, G. I., Høibø, O., Langsethagen, K. G., Skaug, E. & Skyrud, R. E. A. (2012). Variability of density and bending properties of *Picea abies* structural timber. *Wood Material Science & Engineering*, 7 (2): 76-86. doi: 10.1080/17480272.2012.662698.
- Vestøl, G. I., Fischer, C., Høibø, O. & Øvrum, A. (2016). Between- and within-site variation of density and bending properties of *Picea abies* structural timber from Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 31 (8): 758-765. doi: 10.1080/02827581.2016.1174733.
- Vestøl, G. I., Fischer, C. & Høibø, O. (2020). Simulation of structural timber properties based on geographical data and stand-level forest inventory data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35 (5-6): 286-295. doi: 10.1080/02827581.2020.1799067.
- Vestøl, G. I. (2022). *Simulering av egenskaper til konstruksjonsvirke av gran fra Nord-Norge med modeller basert på data fra Sør-Norge*. Upublisert manuskript.
- Viken, K. O. (2021). *Landsskogtakseringens feltinstruks - 2021*. NIBIO-bok;7(5) 2021. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2826859> (lest 11.01.2024).
- Wilhelmsson, L. (2001). *Characterization of wood properties for improved utilization of Norway spruce and Scots pine*. Doktoravhandling. Uppsala, Sverige: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. (2002). Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17: 330-350. doi: 10.1080/02827580260138080.
- Zwick Roell GmbH & Co. KG. (u.å.). *testXpert III* (Versjon V1.51) (lest 22.10.2023).
- Øvrum, A., Vestøl, G. I. & Høibø, O. A. (2008). Modeling the longitudinal variation of sawn timber grades in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 66 (3): 219-227. doi: 10.1007/s00107-008-0237-5.
- Øvrum, A. & Skaug, E. (2012). *Konstruksjonsvirke*. FOKUS på tre, Nr. 43.

7. Vedlegg

Vedlegg 1: Variabler som ikke inngikk i de endelige modellene.

Variabel	Enhet	Forklaring
Bestandsnivå		
Breddegrad	Grader	
Høyde over havet	m	Bestandets høyde over havet
Bonitet (H ₄₀)	m	Markas maksimale produksjonsevne. Beregnet med utgangspunkt i overhøyde i bestandet og alder i brysthøyde, med tabeller fra Tveite (1977)
Trenivå		
Gjennomsnittlig dbh	mm	Gjennomsnitt av maksimal og minimal dbh
Relativ dbh	%	Gjennomsnittlig dbh for hvert prøvetre dividert på gjennomsnittlig dbh for hvert bestand beregnet fra stikklistene fra feltarbeidet
Grunnflatesum	m ² /ha	Sum av trærnes grunnflate målt ved prøvetrærne.
Gjennomsnittlig kronevidde	cm	Gjennomsnittet av kronevidde målt i nord, sør, øst og vest
Gjennomsnittlig årringbredde_bh	mm	Gjennomsnittlig årringbredde for hvert tre beregnet som gjennomsnittlig dbh dividert på alder i brysthøyde
Alder i brysthøyde	År	Total husholdningsalder i brysthøyde
Kronehøyde_ntg	cm	Høyde til nederste tørre grein, målt fra rotavskjær
Kronehøyde_ngg	cm	Høyde til nederste grønne grein, målt fra rotavskjær
Kronehøyde_lst	cm	Kronehøyde etter landsskogtakseringens definisjon
Kronehøyde_180	cm	Høyde til grønn krone som dekker 180° av stammens omkrets
Kronehøyde_360	cm	Høyde til grønn krone som dekker 360° av stammens omkrets
Trehøyde	cm	Total høyde på treet
Plankenivå		
Marg/Yte		Klassifisering av hver planke som enten marg- eller yteplanke



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway