

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2025 30 stp

Fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Densitet og mekaniske egenskaper av konstruksjonsvirke fra gran i Nordland

Density and Mechanical Properties of Structural
Timber from Norway Spruce in Nordland

Jostein Nordeide

Skogfag

Forord

Etter fem år som student er det en tid for nye opplevelser. Jeg vil først og fremst takke alle jeg har blitt kjent med gjennom disse årene og som har formet både meg og studietiden min.

NMBU har gjort at jeg har blitt kjent med mange på tvers av faglige retninger, og Studentersamfunnet og det sosiale i Ås har gitt meg venner jeg håper på å ha livet ut. Jeg takker for alle fine samtaler jeg har hatt på lesesalen, både sent og tidlig og før og etter klage fra resten av lesesalen. En takk utrettes spesifikt til Den X-Cusive Stiftelse PB for erfaringer og gode minner å se tilbake på, og fine vennskap å ta med videre.

Tack psamt Pskaal!!

Jeg vil takke alle forelesere for gode diskusjoner og for deres interesse for faget. En takk til mamma og pappa som har stilt opp og delt gleden når ting har vært bra, og med en hjelpende hånd og en klem når ting ikke har vært like bra. En takk til venner hjemme for fine fisketurer og jakturer årene jeg har studert, det har vært fine avkoblinger fra studier.

I forbindelse med masteroppgaven vil jeg takke Geir Isak Vestøl for veiledning, og for muligheten til å fordype meg i treteknologi. Geir ga meg en masteroppgave hvor jeg fikk engasjere meg i et prosjekt og fikk følge hele prosessen fra stående skog til resultatene vist i denne masteren. Det har gitt meg en forståelse for hvordan forskningen i treteknologi går fram. Jeg vil også takke Eirik Nordhagen for en flott tur i Nordland for innsamling av data, og for godt selskap på laboratorium gjennom høsten. Jeg vil også takke Runa Stenhammer Aanerød for hjelp tilknyttet datainnsamling, og alle lokale engasjerte vi møtte når vi reiste i Nordland. En takk rettes også til Roar Økseter for god tilrettelegging og samarbeid på laboratorium.

Jostein Nordeide

Ås, 12. mai 2025

Sammendrag

I denne studien er bøyefasthet, elastisitetsmodul og densitet til konstruksjonsvirke av gran (*Picea abies* (L.) Karst.) fra i Nordland fylke i Norge undersøkt. Hovedmålene har vært å undersøke om konstruksjonsvirke fra Nordland tilfredsstiller krav gitt i Norsk standard NS-EN 338 etter visuell sortering i henhold til Norsk standard NS-INSTA 142, og studere variasjonene.

Det ble samlet inn tømmer fra 45 trær fordelt på fem bestand i Nordland. Tømmeret ble skåret til 411 planker som ble styrkesortert visuelt i henhold til Norsk standard NS-INSTA 142, og densitet, e-modul og bøyefasthet ble testet i henhold til standard EN 408. Målingene ble korrigert i henhold til Norsk standard NS-EN 384, og karakteristiske verdier ble beregnet etter Norsk standard NS-EN 14358.

Resultatene viste at T1 oppfyller kravene til C18, sorteringsklasse T2 oppfyller kravene til C24, og sorteringsklasse «T2 og bedre» oppfyller kravene til C24. Gran sortert til klasse T3 holdt imidlertid ikke kravene i henhold til Norsk standard NS-EN 338.

Det ble utviklet statistiske modeller som viser at visuelle og posisjonsrelaterte variabler som kvistdiameter, relativ høyde i treet og årringbredde kan forklare de mekaniske egenskapene. Noen av modellene bruker skog-, tre- og stokkvariabler, og det kreves sporing av tømmer fra skog til sagbruk for å bruke disse modellene til sortering på sagbruket.

Gjennomsnittsverdier for densitet, elastisitetsmodul og bøyefasthet i denne studien er lavere enn det som er funnet i studier av gran fra Sør-Norge. Likevel oppfyller gran i denne studien kravene til og med fasthetsklasse C24 med visuell styrkesortering etter Norsk standard NS-INSTA 142, og det viser et potensiale for å bruke gran fra Nordland som konstruksjonsvirke.

Abstract

In this study, the modulus of resilience, modulus of elasticity and density of structural timber from Norway Spruce (*Picea Abies*) from Nordland in Norway were studied. The main objectives were to assess whether structural timber from Nordland meets the requirements specified in the Norwegian standard NS-EN 338 when graded by using visual grading according to the Norwegian standard NS-INSTA 142, and to examine the variations.

Timber was collected from 45 trees from five stands in Nordland. The logs were sawn into 411 planks, which were visually strength-graded in accordance with Norwegian standard NS-INSTA 142, and density, modulus of elasticity and modulus of resilience were tested following the standard EN 408. The test results were adjusted in accordance with Norwegian standard NS-EN 384, and characteristic values were calculated in accordance with Norwegian standard NS-EN 14358.

The study found that sorting class T1 meets the requirements for strength class C18, sorting class T2 meets the requirements for C24, and class “T2 and better” meets the requirements for C24. However, spruce graded as T3 did not meet the requirements for C30 given in Norwegian standard NS-EN 338.

Statistical models were developed, showing that visual and position- related variables such as knot diameter, relative height within the tree and annual ring width can explain the mechanical properties. Some of the models use forest-, tree-, and log-specific variables, requiring traceability of timber from forest to sawmill for these models to be implemented in sorting at the sawmill.

The average values for density, modulus of elasticity and modulus of resilience in this study were lower than those found in studies of spruce from southern Norway. Nevertheless, the spruce from this study meets the requirements up to and including strength class C24 when visually strength-graded according to Norwegian standard NS-INSTA 142, approving a potential for using spruce from Nordland as structural timber.

Om bruk av kunstig intelligens (KI)

I denne oppgaven har det blitt brukt kunstig intelligens, men med bevisste begrensninger. KI-programmer som har blitt brukt er Perplexity.ai og ChatGPT versjon 4. KI ble brukt som en søkemotor for å finne kilder, hvor jeg har kontrollert for faktisk innhold. For struktur i avsnitt og setningsoppbygging har ChatGPT blitt brukt som inspirasjon. Ingen tekst i oppgaven er hentet fra KI-programmer direkte. KI har også blitt brukt som hjelpemiddel for å finne frem til kommandoer i programmene Excel, Word og Jmp.pro.

Innhold

1. Introduksjon	1
1.1 Standard Norge og sorteringssystemer.....	1
1.2. Bakgrunn	3
1.3. Granas egenskaper	4
1.4. Målet med forsøket	6
2. Metode.....	8
2.1 Forsøksplan	8
2.2 Studieområde og bestandsinformasjon.....	8
2.3 Feltarbeid	9
2.3.1 Før trefelling	9
2.3.2 Fra trær -til planker	11
2.4 Tørking og klimatisering	11
2.5 Visuell styrkesortering og fysiske målinger	12
2.5.1 Første målestasjon (NS-INSTA 142)	12
2.5.2 Andre målestasjon (elastisitetsmodul og bøyefasthet)	13
2.5.3 Densitet	15
2.5.4 Fuktighet	16
2.6 Databearbeiding og korrigering	17
2.6.1 Korrigering av densitet.....	17
2.6.2 Korrigering av e-modul	18
2.6.3 Korrigering av bøyefasthet	18
2.7 Beregning og verifisering av karakteristiske verdier	19
2.7.1 Parametrisk tilnærming.....	20
2.7.2 Ikke-parametrisk tilnærming	23
2.7.3 Beregning av karakteristisk gjennomsnittsverdi	23
2.8 Statistiske analyser	24
3. Resultater	27
3.1 Bøyefasthet.....	28
3.2 E-modul.....	33
3.3 Densitet.....	34
3.4 NS-INSTA 142.....	36
3.5 Karakteristiske verdier	38
4. Diskusjon	40
4.1 Metode	40

4.2 Sammenligning med tidligere studier	41
4.3 Påvirkende variabler på densitet, MOR og MOE.....	43
4.4 Modeller	46
4.5 Styrkesortering og karakteristiske verdier	47
5. Konklusjon	49
6. Referanseliste	50

Tabell 1: Forklaring av forkortelser og betegnelser brukt i studien.

Symbol	Definisjon	Enhet
DBH	Diameter på treet i 1,3 meter høyde også kjent som brysthøyde	cm
MOH	Meter over havet	m
KK	Største kvist på plankens kantside	mm
FG	Største kvist på plankens flatside	mm
KG	Sum av diameter for alle kvister innen plankeutsnitt tilsvarende plankens høyde	mm
ÅB	Gjennomsnittlig bredde på årringer	mm
MOR	Bøyefasthet korrigert til materialfuktighet 12%	N/mm ²
MOE	Elastisitetsmodul korrigert til materialfuktighet 12%	kN/mm ²
ρ	Densitet	kg/m ³
NFS	Nord for Saltfjellet	
SFS	Sør for Saltfjellet	

1. Introduksjon

For byggebransjen i Norge er gran (*picea abies* (L.) Karst) et av de mest brukte treslagene, og i 2024 ble 8,5 millioner kubikk gran avvirket i Norge (Statistisk sentralbyrå, 2025b). Gran antas å ha innvandret østfra inn i Norge cirka 4000 år tilbake i tid (Øyen & Nygaard, 2020). Saltfjellet (N66°55', E15°33') skiller naturlig og plantet gran, og nord for fjellet forekommer grana hovedsakelig grunnet planting (Dalen, 2023). I etterkrigsårene var det storstilt satsing på skogreising i Norge, og det ble gjennomført omfattende prosjekter i Nord-Norge (St. meld. nr. 44. (1954)). I 2020 ble det avvirket cirka 180 000 kubikk gran i Nordland, med potensiale til å øke kvantum kommende år (Statsforvalteren i Nordland, 2022). Når gran brukes i bærende konstruksjoner stilles det krav til densitet og mekaniske egenskaper (Standard Norge, 2016a). Det er vist at egenskapene varierer både lokalt og regionalt (Fischer, 2016; Høibø, 1991), og gran fra de nordlige fylkene fikk et uheldig omdømme etter at Nagoda (1985a) publiserte en studie som viste svake mekaniske egenskaper til trelast av gran fra regionen. Gitt at studien er 40 år gammel og at skogen ha blitt tilsvarende eldre, etterspørres nå oppdatert forskning på nordlandsgran (Statsforvalteren i Nordland, 2022). Med stadig mer hogstmoden gran i Nordland er det derfor av interesse å se hvilke bruksområder den nordlandske grana egner seg for, og hvordan virkeskvaliteten varierer. Det er derfor relevant å se nærmere på om de lokale variasjonene i Nordland kan brukes til å forutsi hvordan man kan finne virke med gode egenskaper.

1.1 Standard Norge og sorteringssystemer

Konsekvensen av å ikke ha krav til konstruksjonsvirke vil være redusert sikkerhet for konstruksjoner, som kan resultere i farlige situasjoner. Dagens gjeldende byggt teknisk forskrift, kjent som «TEK17», trådte i kraft 1. juli 2017 (Byggt teknisk forskrift, 2017). Forskriften setter i kapittel 3 krav til dokumentasjon av byggevarer, og dokumentasjon i henhold til Norsk Standard oppfyller dokumentasjonskravet. Norsk Standard lages av Standard Norge (Standard Norge, u.å.), som i 2023 publiserte en samling av standarder gjeldende for prosjektering av trekonstruksjoner, også kalt NS-EN 1995 Eurokode 5 (Standard Norge, 2023). Standarden brukes sammen med NS-EN 338 konstruksjonsvirke — Fasthetsklasser (Standard Norge, 2016a), som spesifiserer krav for egenskapene densitet, stivhet og styrke for konstruksjonsvirke (Standard Norge, 2016a).

Standard NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) definerer fasthetsklasser, og klassene skilles i krav til de karakteristiske egenskapene densitet, MOR og MOE. Standardens høyeste

fasthetsklasse er C50, men ikke før 2015 kom første godkjente norske sagbruk med C40 i forbindelse med prosjektet «Tresterk» (Forskningsrådet, u.å.). Gitt at sorteringene tilfredsstiller krav i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) er det flere metoder for styrkesortering som kan brukes (Standard Norge, 2022b). Visuell metode var mer vanlig før, men i dag brukes den mindre grunnet dårlig presisjon sammenlignet med maskinell metode (Fischer, 2016; Høibø et al., 2013). I henhold til NS-EN 1912 (Standard Norge, 2012b) er ulike fasthetsklasser tilordnet sorteringsklassene i NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009), som vist i tabell 2. Det betyr at trelasten som er sortert etter NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) skal oppfylle kravene til fasthetsklassene, slik de er definert i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a). NS-INSTA 142 (2009) «identifiserer egenskapene og definerer sorteringskravene for visuell styrkesortering av skurlast som skal brukes i bærende konstruksjoner» av blant annet gran. Det er mulig å gjøre visuell vurdering av styrkesegenskaper basert på sammenheng mellom visuelle kjennetegn, eksempelvis kvist, og andre fasthetsreduserende egenskaper (Høibø et al., 2013). NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) gjelder for spesifikke treslag i Nord- og Nordøst-Europa, og det er de samme kravene som gjelder innenfor hele standardens geografisk dekkende område (Standard Norge, 2012b). NS-INSTA 142 deler inn konstruksjonsvirke i 4 klasser, henholdsvis T3, T2, T1 og T0 hvor T3 er den beste klassen (Standard Norge, 2009). Kravene for å oppnå klasse T3 er de strengeste, og kravene blir gradvis lavere med synkende klasse. Det er fordi lavere sorteringsklasser er tilordnet lavere fasthetsklasser som vist i tabell 2 (Standard Norge, 2012b). Dersom en planke ikke oppnår minstekrav (T0) vil planken ikke få en sorteringsklasse, og vil dermed ikke sorteres til konstruksjonsvirke. Nagoda (1985a) fant at «de kriterier som ligger til grunn for visuell sortering av konstruksjonsvirke passer ikke for sortering av gran fra Nord-Norge». Årsaken var at «gran fra Nord-Norge har betydelig lavere styrkeegenskaper enn gran fra sentrale deler av Østlandet og Trøndelag. Dette gjelder også når en sammenligner virke med lik densitet.».

Tabell 2: Sorteringsklasser med tilordnet fasthetsklasse. Sorteringsklasser gitt etter NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009), og fasthetsklasser gitt i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a).

Sorteringsklasse	Fasthetsklasse
T3	C30
T2	C24
T1	C18
T0	C14

1.2. Bakgrunn

Lavere temperatursum gir gran fra Nord-Norge lavere densitet sammenlignet med gran fra sørligere områder i Norge med tilsvarende årringbredde (Wilhelmsson, 2001). På bonitet G23 med høy planteavstand fant Høibø (1991) tilnærmet lik densitet som Nagoda (1985a), men i sistnevnte studie var boniteten langt lavere. Nagoda (1985a) viser selv til lavere verdier for den nordnorske grana i sammenligning med studie fra Foslie og Moen (1968) om styrke på gran fra Trøndelag og Østlandet. Vestøl et al. (2020) fant positiv korrelasjon mellom alder og henholdsvis MOE og MOR, men ingen signifikant effekt på mellom alder og densitet. Ettersom gran har en relativt kort historie nord for Saltfjellet har det i motsetning til Østlandet ikke vært mulig å se hvordan grana blir når den er ferdig modnet. Nagoda (1985a) rapporterte om 140 000 m³ avvirket bartrevirke i 1980-1981 for Nordland og Troms, i 2024 ble det avvirket 223 000 m³ bartrevirke (Statistisk sentralbyrå, 2025a).

Omløpstad for hogstmoden skog varierer med boniteten, og på lavere boniteter kan omløpstiden være 120 år (PEFC, 2022). Da Nagoda (1985a) gjorde sin studie på gran i nord var det cirka 40 år siden skogreisingen (St. meld. nr. 44. (1954)), hvilket vitner om at plantet gran på lavere boniteter ikke var ferdig utvokst og muligens underrepresentert. Nygaard (2003) publiserte en rapport hvor det ble testet MOR, MOE og densitet på C30-klassifisert virke fra et plantet bestand i Steigen (N67°45', E15°15'), men en flate til å representere variasjonen i Nordlands granskog er utfordrende.

Etter hvert som grana blir eldre, øker diameteren på treet. Diameteren igjen har innvirkning på hvilke dimensjoner stokken kan skjæres til. Når plankene skjæres ut i større dimensjoner blir det høyere toleranse for diameter på kvister og kvistgrupper, som et resultat av at NS-INSTA 142 baserer vurderingen av kvist på andel av plankens flatside/kantside dekket av kvist (Standard Norge, 2009). Ettersom ungdomsveden utgjør de første 20 årringene fra marginen (Birkeland et al., 2002), vil all vekst etter dette resultere i lavere andel ungdomsved totalt. For større stokker er det mulig å skjære ut yteplank som ikke har innhold av ungdomsved, hvilket taler for at styrkesegenskaper til gran fra Nordland kan ha endret seg fra målingene Nagoda (1985a) gjorde. Nagoda brukte forsøksfelter med ukjent skogbehandling, og det er derfor ikke sikkert om resultatene er representative for Nordland.

Med testing på gran med samme dimensjoner som denne studien, fant Høibø (1991) gjennomsnittlig MOR på 31,4 N/mm², med enkeltmålinger over 60 N/mm². Foslie & Moen (1968) fant i sine studier på konstruksjonsvirke av gran med gjennomsnittlig MOR på 48,7

N/mm². Både Høibø (1991) og Foslie & Moen (1968) har altså verdier for MOR over 30 N/mm², men det er ikke gjennomsnittet som er begrensende. Årsaken til bruk av lavere fasthetsklasser skyldes store variasjoner i styrkeegenskaper hos gran (Høibø et al., 2013; Vestøl et al., 2016). Det kan også skyldes lav etterspørsel dersom kunden ikke er villig til å betale ekstra for, eller ikke har behov for høyere fasthetsklasse.

Ettersom variasjonen er en begrensning, er det av interesse å se på hva som kan redusere den tilfeldige variasjonen. For å redusere variasjonen, kreves det kunnskap om hva grunnene til variasjon er. Kunnskap som reduserer tilfeldig variasjon, kan brukes til å til å velge ut tømmer som egner seg til produksjon av konstruksjonsvirke i høyere sorteringsklasser. Eksempelvis kan deler av en slik variasjon skyldes boniteten, breddegrader og høydemeter (Vestøl et al., 2016).

En ting er å avdekke grunner til variasjon, men variablene må også kunne tolkes av næringen og slik være anvendbare for sagbruk og skogsarbeider. Det er hensiktsmessig å finne variabler som påvirker virkeskvalitet, for å vite hvordan skogen kan forvaltes for å bedre virkeskvalitet. For lokale variasjoner og variasjon innad i treet kan sporbarheten også ha innvirkning. Et eksempel hvor sporbarheten kan avdekke variasjon er hvordan densiteten utvikler seg i treets relative høyde (Kucera, 1992). Fischer (2016) utviklet modeller for densitet, MOE og MOR for Østlandet med variabler som blant annet diameter i brysthøyde, alder, breddegrad og høyde over havet. Hillestad (2024) utviklet lignende modeller basert på blant annet kviststørrelse, årringbredde og høyde innad i treet basert på data fra pilotprosjektet «Gran i nord». Bergerud (2021) gjorde lignende modelleringer for furu (*pinus sylvestris*) i sin masteroppgave.

1.3. Granas egenskaper

Som nevnt stilles det krav til verdier for densitet, MOR og MOE for konstruksjonsvirke (Standard Norge, 2016a). Det er forventet at kravene til alle egenskapene er oppfylt for den fasthetskasse trelasten er sortert til, og variasjonen i densitet, MOR og MOE er utdypet nedenfor.

Densitet

Densitet forteller om massetettheten i materialet, og uttrykkes ofte ved kg/m³ (Standard Norge, 2016a). Det er en av de mest studerte virkesegenskaper innen treteknologi, da den alene fungerer som en egenskap i tillegg til å indikere andre egenskaper (Bramming, 2006; Fischer, 2016; Kucera, 1992). Densiteten varierer innad i treet, mellom trær i samme bestand og mellom bestand (Treteknisk, 2009), og påvirkes av både arv og miljø (Nagoda, 1985b). Høibø et al. (2013) og Høibø (1991) viser at det er positiv korrelasjon mellom densitet og e-modul for gran,

hvilket betyr at med kunnskap om densiteten kan det settes forventninger til e-modul. Densitet er negativt korrelert med årringbredde (Bramming, 2006; Høibø, 1991; Kollmann & Côté, 1968; Nagoda, 1985b). Årringbredden styres av veksthastighet og vekstområde, og en økning i årringbredde skjer i vårveden. Sommerveden har 2-3 ganger høyere densitet enn vårveden, og med økende andel vårved vil densiteten synke (Kollmann & Côté, 1968; Nagoda, 1985b; Treteknisk, 2009).

Temperatur en avgjørende faktor for vekstforholdene i gran da temperaturen er styrende for start og slutt på vekstsesongen (Morèn & Perttu, 1994; Treteknisk, 2009). Temperaturforholdene kan uttrykkes som temperatursum, forklart ved antall timer i året over terskel for temperaturverdi, eksempelvis antall timer over 5°C (Morèn & Perttu, 1994). Temperatursummen reduseres av økende breddegrad og økende høyde over havet, som igjen virker negativt på vekstsesongens lengde (Morèn & Perttu, 1994). Gitt samme årringbredde er densitet registrert lavere som følge av temperatursum (Wilhelmsson, 2001). Densiteten varierer også i treets tverrsnitt, hvor densiteten er på sitt laveste cirka 5-10 årringer fra margen (Kucera, 1992). Densiteten stiger så jevnt med økende årring fra margen. De første 5-20 årringene ut fra margen kalles ungdomsved (Birkeland et al., 2002; Kucera, 1992). Ungdomsvedens sammensetning av hemicellulose, lignin og hemicellulose skiller seg fra annen ved (Kucera, 1992). Også mikrofibrillvinkelen i S2-laget er høyere hvilket gir ungdomsveden større krymping og svelling i lengderetningen enn moden ved (Birkeland et al., 2002). Ungdomsveden har lav andel sommerved, hvilket igjen reduserer densiteten (Birkeland et al., 2002; Nagoda, 1985b). Studier på variasjon i densitet som følge av relativ høyde har vist til forskjellige tendenser. Kucera (1992) viser en økt densitet med økende relativ høyde i treet. Repola (2006) fant en svakt synkende densitet med høyden første halvdel av treet, for så en økning i densitet i øvre halvdel av treet. Bramming (2006) fant høyest densitet ved 75% av granas høyde.

Mekaniske egenskaper

I NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) skilles det mellom stivhetsegenskaper og styrkeegenskaper. MOE ved bøyning er en stivhetsegenskap, mens MOR er en styrkeegenskap. Det finnes flere stivhets- og styrkeegenskaper, men det er disse som kreves dokumentert for C-klassene i NS-EN 338. MOR kalles også bruddstyrke, og er den maksimale normalspenningen en planke tåler før den brytes (Standard Norge, 2012a). Når MOR testes, påføres et bøyemoment, og planken får da en trykkside der hvor lasten påføres, og en strekkside på motsatt side av der lasten påføres (Kollmann & Côté, 1968). MOR reduseres av fiberforstyrrelser, som ofte er forårsaket av kvister (Øvrum, 2012). Størrelse på kvisten, avstand mellom kvister og

innkapsling av kvisten har alle innvirkning på de mekaniske egenskapene (Kollmann & Côté, 1968). Det er negativ korrelasjon mellom MOR og kvistdiameter (Vestøl et al., 2012). Plassering av fiberforstyrrelsen har også innvirkning, da den har større innvirkning på strekkside enn trykkside (Treteknisk, 2009; Vestøl et al., 2012). Brudd ved trykkfasthet skjer også med en lavere last enn for strekkfasthet (Treteknisk, 2009). Kvistdiameteren varierer med relativ høyde i treet, og kvistdiameteren øker fra rot opp til nedre del av krona, deretter snur utviklingen og i kronen synker kvistdiameteren med økende relativ høyde (Mäkinen & Colin, 1998). Vestøl & Høibø (2001) fant at maksimal kviststørrelse for et tre er positivt korrelert med henholdsvis DBH og bonitet, og negativt korrelert med høyde opp til krone. Høibø (1991) fant positiv korrelasjon mellom største kvistdiameter og diameter i brysthøyde. Planteavstand og største kvistdiameter er positivt korrelert, og for granbestand bør det holdes lav planteavstand av hensyn til virkeskvalitet (Høibø, 1991). Studier har vist positiv korrelasjon mellom densitet og MOR (Bramming, 2006; Høibø et al., 2013; Høibø, 1991), og for å få høy MOR bør det derfor være høy densitet. Økt årringbredde er negativt korrelert med MOR (Bramming, 2006). Høibø (1991) fant negativ korrelasjon mellom MOE og årringbredde.

MOE beskriver hvor mye en planke deformeres/bøyes ved å påføre et bestemt bøyemoment (Standard Norge, 2012a). MOE påvirkes av kvist, men ikke i like stor grad som MOR (Vestøl et al., 2012). MOE og MOR er positivt korrelert (Bramming, 2006), det er også MOE og densitet (Høibø et al., 2013; Høibø, 1991). Variasjon av MOE innad i trets høyde har vist til forskjellige trender, hvor Bramming (2006) fant lavere MOE i rothøyde enn ved henholdsvis 25% og 50% av trehøyde. For utvikling av modell for MOE fant Fischer (2016) negativ korrelasjon mellom MOE og relativ høyde i trærne. Vestøl et al. (2012) og Høibø (1991) fikk også negativ korrelasjon mellom MOE og relativ høyde i trærne.

1.4. Målet med forsøket

Gitt Nagoda (1985a) sin studie på virkeskvalitet for gran fra Nord-Norge satt opp mot positiv korrelasjon mellom densitet og alder med unntak av ungdomsved (Kucera, 1992), og økende MOE og MOR med økende alder (Vestøl et al., 2020), er det interessant å se om verdier for densitet, MOE og MOR på gran fra Nordland har økt.

Ettersom NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) baserer seg på visuelle egenskaper og skal tilfredsstille krav for densitet, MOR og MOE i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a), men Wilhelmsson (Wilhelmsson, 2001) har vist negativ korrelasjon mellom temperatursum og densitet gitt samme årringbredde, er det behov for å se om gran fra Nordland sortert etter NS-

INSTA 142 (Standard Norge, 2009) tilfredsstiller krav til densitet, MOR og MOE i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a).

Ettersom variasjon i densitet, MOE og MOR hindrer gran i å oppnå høyere fasthetsklasser i henhold til NS-EN 338 (Høibø et al., 2013; Standard Norge, 2016a; Vestøl et al., 2016), er det av interesse å se om bestandets beliggenhet og egenskaper, variasjon innad i bestand, variasjon i treet og visuelle kjennetegn kan brukes for å redusere variasjonen.

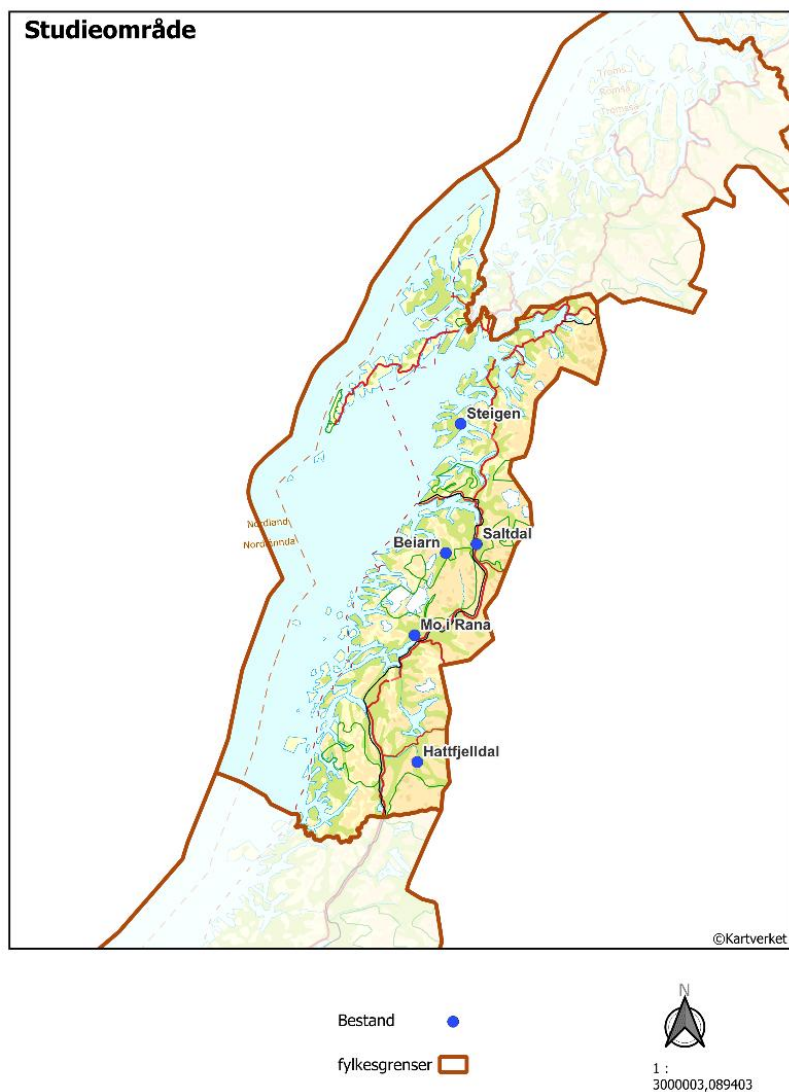
2. Metode

2.1 Forsøksplan

Forsøksplanen ble utviklet i samarbeid mellom representanter fra Statsforvalteren i Nordland, NIBIO og NMBU underlagt forskningsprosjektet «Gran i Nord». Forsøksplanen hadde som mål å representere hogstmoden gran i Nordland best mulig, og det var derfor ønskelig å dekke variasjon i breddegrader, høydelag og vekstforhold. Skogskjøtsel for valgte bestand var uvisst.

2.2 Studieområde og bestandsinformasjon

Studieområdet er i Nordland, nord i Norge, og det er hentet virke fra tre steder nord for Saltfjellet og to steder sør for Saltfjellet (figur 1). Saltfjellet skiller naturlig og plantet gran, hvor tilnærmet alt av gran nord for Saltfjellet er et resultat av skogplantning (Nagoda, 1985a).



Figur 1: Kartutsnitt av studieområde inkludert bestandsflater. Kart er laget i QGIS (QGIS Development team, 2023)

Som vist i tabell 3 var nordligste bestand Steigen (N67°81', E15°29'), og sørligste bestand var Hattfjelldal (N65°51', E14°00'). Steigen var det mest lavtliggende bestandet med 50 MOH, og Hattfjelldal det mest høytliggende med 368 MOH. Alle bestand var ensjiktet og treavstanden var relativt lik innad i hvert bestand, med unntak av Hattfjelldal hvor trærne sto mer gruppevis.

Tabell 3: En oversikt av studiens geografiske område, og bestanders beliggenhet. Breddegrader og lengdegrader er satt etter Coordinate Reference System EU89- Geografiske grader (Lat/Lon)

Bestand	Felt.nr	MOH	Nord/Sør saltfjellet	Lengdegrader	Breddegrader
Steigen	1	50	Nord	15,29484	67,81032
Hattfjelldal	2	368	Sør	14,00071	65,51291
Saltdal	3	125	Nord	15,37255	66,95701
Beiarn	4	180	Nord	14,79228	66,91813
Mo i Rana	5	102	Sør	14,11855	66,36136

2.3 Feltarbeid

2.3.1 Før trefelling

Utvalgsprosedyre startet med å klave 70-125 trær i hensikt å inkludere variasjon i diameter for bestandet. Som følge av at virket skulle bli til planker (se delkapittel 2.3.2) ble 17 cm DBH inkludert bark satt som minstemål. Trær med DBH over 17 cm ble delt inn i 3 diameterklasser med like mange trær i hver klasse. Det ble så valgt ut 3 tilfeldige prøvetrær fra hver diameterklasse, totalt 9 prøvetrær fra hvert bestand. Dette gav et representativt utvalg av trærne med DBH over 17 cm.

Utvalg av prøvetrær ble gjort med valgt diameterintervall, rett stammeform og unngåelse av virkesfeil. For å tilstrebe representative prøvetrær fra bestandet ble trær i kanten av bestand unngått grunnet andre lysforhold. Det var ønskelig å unnlate trær med feil som ikke er tillatt i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009). Synlige gankvister, misforminger på stamme, råte eller andre skader resulterte i at et annet tre ble valgt.

For prøvetrær ble det målt største og minste DBH, barktykkelse, høyde, kronevidde i alle fire himmelretninger, høyde til laveste døde kvist, høyde til laveste levende kvist, høyde opp til kronen dekket 180 grader og høyde opp til 360 grader krone. For høydemålinger ble det brukt Vertex (Haglöf, 2007), og for kronevidde ble det brukt lasermåler Bosch GLM 30 (Bosch., 2020).

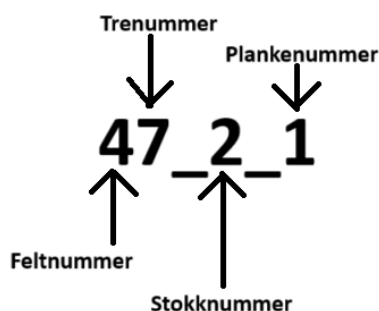
I felt ble det besluttet å bonitere på nytt, da det var forskjellig personell som tok bonitering til forsøksplan og til de som utførte feltarbeidet til studien. I boniteringen ble det brukt H40-

metode (Tveite, 1977). Bonitering ble gjort med å oppsøke de 2-3 største trær observert i bestandet, for så å gjennomføre høydemåling og aldersmåling i brysthøyde (alder ved 1,3m høyde). Alder vist i tabell 4 er estimert alder ved rotavskjær basert på brysthøydealder (Landbruksforlaget, 1987). Basert på registrert høyde og alder for hvert bestand ble det utregnet en gjennomsnittlig bonitet for bestandet, vist i tabell 4. Bonitet ble brukt til å bedømme om bestand er hogstmodne. Basert på omløpstid og nedre aldersgrense for hogst gitt i PEFC-skogstandard (PEFC, 2022) tilfredsstiller kun bestand i Saltdal og Beiarn alder for «vanlig omløpstid». Alle bestand er over nedre aldersgrense for hogst.

Tabell 4: Bestandsinformasjon fra feltmålinger vist som gjennomsnitt for hvert bestand. Tall i parentes er gjennomsnitt.

Bestand	Antall prøvetrær	Antall stokker	Bonitet	Alder	Grunnflatesum	DBH (mm)
	(n)	(n)				
Steigen	9	27	G14	88	66	226
Hattfjelldal	9	29	G17	76	27	263
Saltdal	9	44	G20	90	40	263
Beiarn	9	48	G20	90	41	277
Mo i Rana	9	35	G17	74	28	224
Totalt/snitt	45	183		(83,6)	(40,4)	(251)

For å avdekke forskjeller mellom henholdsvis bestand, trær, stokker og planker fikk hver planke sitt unike ID-nummer som vist på figur 2 og 3. En kommunikasjonssvikt underveis i datainnsamlingen resulterte i at ID-nummer på materiale fra Saltdal ikke ble notert, og data fra Saltdal går derfor uten trenummer, stokknummer og plankenummer. Med ID-nummer vil det være mulig å gå tilbake i datamaterialet dersom prøver viser tydelig avvik fra forventet resultat, og det muliggjør å se om det er flere planker fra samme bestand eller tre som har lignende avvik.



Figur 2: Eksempel på hvordan merking av hver enkelt planke ble gjort.



Figur 3: ID-merking av planker. Merket med første siffer som bestands-ID, andre siffer som prøvetre-ID, tredje siffer som stokk-ID og fjerde siffer som planke-ID. Bildet er tatt etter brudd.

2.3.2 Fra trær -til planker

Trelasten skulle testes etter NS-EN 408 (Standard Norge, 2012a), og standarden stiller krav til forhold mellom lengde og høyde på planker, se figur 4. For å tilfredsstille krav fra EN 408 ble lengde på stokkene valgt med hensyn til toppdiameter. Lengdebestemmelsene var følgende:

- Stokker med toppdiameter under 20 cm ble kappet til 300 cm lengde
- Stokker med toppdiameter mellom 20 cm og 30 cm ble kappet til 360 cm lengde
- Stokker med toppdiameter over 30 cm ble kappet til 420 cm lengde

Da stokkene ankom sagbruk ble det gitt instruks for hvilke dimensjoner plankene skulle skjæres i. Uttak av planker fra senterblokk var begrenset til 2 eller 4 planker av trelastdimensjoner vist i tabell 5. Flere mulige dimensjoner kunne økt skurutbyttet.

Tabell 5: Instruks gitt til alle som skulle skjære ut materialer av stokkene.

Toppdiameter (cm)	Antall planker	Trelastdimensjoner
<20	2	50x100 mm
20-28	2	50x150 mm
28-30	4	50x150 mm
>30	4	50x200 mm

2.4 Tørking og klimatisering

Etter tilskjæring av planker ble virket transportert med lastebil til Begna Bruk i Sør-Aurdal kommune. På Begna Bruk ble plankene tørket til 12% fuktighet, hvilket er krav for testing i henhold til EN 408 (Standard Norge, 2012a; Standard Norge, 2022a). I forkant av tørkingen ble alt som skulle til tørking strølagt. Strøleggingen gjøres ved å legge et lag med strø (en lekt) mellom hvert lag med planker, for å tilstrebe luftgjennomgang og jevn tørking av alle planker.

Tørkeprosessen tok cirka 1 uke. Det er viktig at tørkeprosessen ikke gjøres for intenst da det kan skade virket (Tronstad, 2000).

Etter tørkeprosessen var ferdig ble virket fraktet ned til laboratorium ved NMBU i Ås, hvor trelasten ble lagret og kondisjonert i 1 uke før testingen startet. Laboratoriet var klimatisert med en relativ luftfuktighet på $65\pm 5\%$ og en temperatur på $20\pm 2^\circ\text{C}$. Kondisjonering går ut på at virkets fuktprosent skal være stabil, og for at virket skal defineres som kondisjonert i henhold EN 408 skal det ikke være over 0.1% endring av plankens masse i et tidsintervall på 6 timer (Standard Norge, 2012a). Tre planker ble testet for endring av vekt for å bekrefte tilfredsstillende kondisjonering, vist i tabell 6. Nevnte relativ luftfuktighet og temperatur gir 12% likevektsfuktighet i trevirket som er standard fuktighet på trelast som skal testes (Nagoda, 1985a; Standard Norge, 2016a).

Tabell 6: Prosentvis endring av masse tilknyttet kondisjonering. Endring av masse fra andre til tredje måling tilfredsstillende krav fra EN 408 (Standard Norge, 2012a).

Prøve ID	Masse 1 (kg)	Masse 2 (kg)	Endring masse 1-2	Masse 3 (kg)	Endring masse 2-3
12_3	6,554	6,568	0.21 %	6,568	0.00 %
15_1	6,780	6,785	0.07 %	6,786	0.01 %
SD	11,228	11,235	0.06 %	11,234	0.01 %

2.5 Visuell styrkesortering og fysiske målinger

Med godkjent klimatisering, startet prosessen med styrkesortering. Prosessen foregikk med tre målestasjoner, en med visuell styrkesortering etter standard NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) og dimensjonering etter standard EN 408 (Standard Norge, 2012a), en stasjon med testing av MOR og MOE i henhold til EN 408, og en stasjon med måling av densitet og fuktighet i henhold til EN 408.

2.5.1 Første målestasjon (NS-INSTA 142)

Hensikten med første målestasjon var å gjennomføre en visuell styrkesortering, og nødvendige forberedende målinger til mekanisk testing. Visuell styrkesortering ble gjort i henhold til NS-INSTA 142 (2009) for fasthetsreduserende egenskaper. Andre nedklassingsårsaker som formfeil og vankant ble registrert, men ikke tatt hensyn til i vurdering av sorteringsklasse. Den vanligste nedklassingsårsak fra T3 ned til T2 og T1 var kvist og kvistgrupper. Nedklassing til T0 og VRAK var gankvist, og skader forårsaket av bearbeiding. På målestasjonen ble planken definert som margplank eller yteplank. Deretter ble det forsøkt å finne den mest

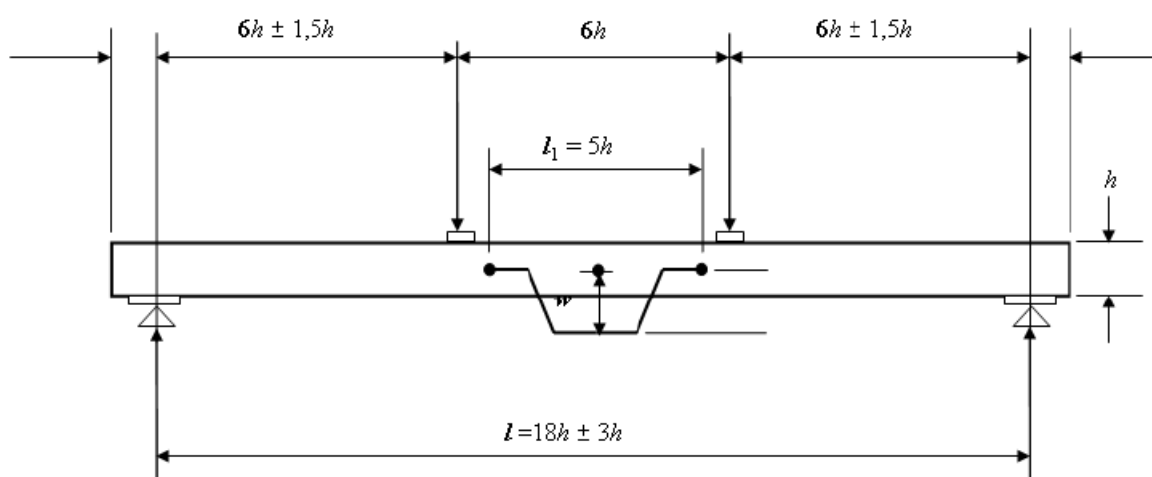
fasthetsreduserende egenskap på planken, typisk gankvister eller store kvister/kvistgrupper. Selve svakheten ble målingsområdets senter, og visuelt målingsområde ble satt til 6 ganger nominell høyde (h) ut på hver side, totalt $12h$. Innenfor måleområdet ble det målt største kvist på yteside (flatsiden lengst unna marg), største kvist på kantsider og andre potensielle nedklassingsårsaker. Alle egenskaper ble målt i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009).

Som forberedende målinger til mekanisk testing ble plankens totale lengde målt, og avstand fra plankens topp ned til målingsområdets senter. Den reelle høyden og bredden ble målt ved målingsområdets senter, målt på tvers av plankens lengderetning.

2.5.2 Andre målestasjon (elastisitetsmodul og bøyefasthet)

Hensikten med andre målestasjon var måling av MOR og lokal MOE. Planken ble montert inn i en måleramme for testing, hvor selve testingen ble utført med testmaskin Zwick Roell Z1200 (Zwick Roell, u.å.-a). Testmaskinen påfører last målt i Newton (N), og nedbøyingen ble registrert i mm. Maskinprodusenten opplyser måleusikkerhet for maskinen på $1.0\mu\text{m}$. Testoppsettet er hentet fra EN 408 (Standard Norge, 2012a), og er firepunkts nedbøying med avstand $18h$ (se figur 4) mellom opplagringspunkt og $6h$ mellom belastningspunkt. Lokal nedbøying ble målt på begge sider av plankene over en lengde $5h$ mellom belastningspunktene. Testoppsettet er vist i figur 4.

Tilhørende Zwick Roell Z1200 brukes dataprogrammet TestXpert III, som er tilpasset til testmaskinen (Zwick Roell, u.å.-b).



Figur 4: Oppsett brukt i testing av lokal MOE, h er plankens nominelle høyde, figur er hentet fra EN 408 (Standard Norge, 2012a).

Lokal MOE ble målt hvor det var tilnærmet lineært forhold mellom last og deformasjon. MOE ble målt i henhold til EN 408 (Standard Norge, 2012a), i intervallet 10-40% av forventet bruddlast, og dersom deler av måleintervallet ikke var lineært, må målingsområdet minst dekke intervallet 20-30% av forventet MOR (Standard Norge, 2012a).

Tabell 7: Testhastighet og oppsett for last tilknyttet fordelt etter dimensjon for testing av MOE i henhold til EN 408 (Standard Norge, 2012a). Avstand mellom opplagringspunkt satt i henhold til EN 408. Tall vist i parentes er testhastighet for test av MOR.

Dimensjon (mm)	Antall tester (n)	Målesyklus		Lastsyklus		Testhastighet (mm/min)	Avstand mellom opplagringspunkt (mm)
		Nedre grense (N)	Øvre grense (N)	Nedre grense (N)	Øvre grense (N)		
50 x 100	196	1000	2000	250	2250	10 (7,5)	1800
50 x 150	183	1000	2500	500	2800	13 (15)	2700
50 x 200	21	1100	3800	600	4000	13 (15)	3300
50 x 200	14	1000	3300	500	3800	15 (20)	3600

Lokal MOE er beregnet ut fra formel 1, hentet fra EN 408 (Standard Norge, 2012a).

Formel 1

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

Forklaring av formel 1:

$E_{m,l}$: lokal MOE ved bøyning (N/mm²)

a: avstand mellom opplagringspunkt og lastpunkt (mm)

l_1 : lengde på måleområde hvor det måles nedbøyning (5h) (mm)

$F_2 - F_1$: økning i påført last under testen (N)

I: $\frac{bh^3}{12}$

b: plankens reelle bredde (mm)

h: plankens reelle høyde (mm)

$w_2 - w_1$: økning i deformasjon i lastområdet $F_2 - F_1$ (mm)

Til å måle plankens nedbøyning under testing av lokal MOE, ble det brukt Heidenhain lengdemåler, produsenten opplyser en måleusikkerhet på 0.2µm (Heidenhain, u.å). Totalt ble

det brukt 3 slike lengdemålere, henholdsvis en for å måle lokal MOE på yteside og margside av planken over et måleområde 2.5h (l₁ figur 4) ut fra hver side av målesenter, og en for global MOE (hele planken). Testprogrammet ble satt til å kjøre 3 målesykluser hvor lokal MOE ble utregnet basert på de 2 siste sykluser. I forkant av testing ble programmet satt inn med øvre og nedre grenser for målesyklus og lastsyklus som vist i tabell 7, hvor intervall for målesyklus alltid er mindre og innenfor lastsyklusens intervall. Grensene ble satt basert på estimert MOR (Standard Norge, 2012a).

Slik figur 4 viser skal avstand mellom opplagringspunkt være 18h der det er mulig, men det er tillatt avvik på 3h (Standard Norge, 2012a). 14 tester i dimensjon 50mm x 200mm ble gjennomført med kortere avstand mellom opplagringspunkt enn ønskelig, som følge av for korte planker, vist i tabell 7. Det ligger en øvre begrensning i maksimal testhastighet på 0.003h mm/s (Standard Norge, 2012a). Alle tester ble kjørt i lavere hastighet enn fartsgrensen.

Målerammen for MOR er lik som for MOE, men det måles ikke deformasjon. Når MOR måles, påføres økende last på tvers av plankens lengderetning frem til et brudd finner sted. Fra testen starter skal det ikke overstige 300±120 sekunder til MOR er oppnådd (Standard Norge, 2012a). Beregning av MOR ble gjort i henhold til formel 2 hentet fra EN 408.

Formel 2

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

Forklaring av formel 2:

f_m : MOR oppgitt i N/mm²

F: last påført (N)

2.5.3 Densitet

Straks etter brudd ble det tatt ut en kloss av planken. Klossen var et tverrsnitt av planken med cirka 5 cm lengde, og ble tatt ut så nært bruddet så mulig uten sprekker og kvist. I noen tilfeller der det ikke var hele tverrsnitt, ble størst mulig del av tverrsnittet brukt. Klossene ble veid samme dag som MOR ble målt, måleusikkerhet på vekten har produsenten oppgitt til 0.01gram (Mettler, 2001). Så ble klossen dyttet ned i et vannkar på vekt for å måle volumet med oppdriftsmetoden, hvilket kan gjøres fordi 1 liter vann er ett kilo, og oppdriften er lik det fortrenge vannets masse (Arkimedes lov). Masse og volum ble brukt til å utregne densitet i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a), formel 3 ble brukt:

Formel 3

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Forklaring av formel 3:

ρ : densitet (kg/m³)

m: masse (g)

v: volum (m³)

Målereglementet i NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) omhandler blant annet årringbredde, hvilket også ble målt på klossene. Årringbredden ble målt i et tverrsnitt av planken, rett ut fra margen. De første 25 mm fra margen ble ikke inkludert i målingen, men utover den begrensningen var målet å inkludere så mange årringer som mulig. Klossens gjennomsnittlige årringbredde ble så utregnet med formel 4, i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009):

Formel 4

$$\bar{A}b = \frac{l}{n}$$

Forklaring av formel 4:

$\bar{A}b$: årringbredde

l: lengde på måleområdet

n: antall årringer innenfor måleområdet

2.5.4 Fuktighet

Fuktighet må måles for å korrigere testverdier for MOE og densitet til 12% fukt. Tørking i henhold til NS-EN 13183-1 (Standard Norge, 2002) ble derfor gjennomført, hvor klossene lå i 103°C til klossenes vektendring stanset. For å være sikker på at det ikke var vektendring ble klossene liggende i tørkeskap minimum 48 timer. Prøvene ble så lagt i eksikator for å unngå fuktendring mens prøvene ble avkjølt. Det ble så foretatt en ny vektmåling av klossene. Differansen i masse før og etter tørkeskap ble brukt til å beregne fuktigheten, se formel 5. Tabell 8 viser gjennomsnittlig fuktinnhold fordelt etter dimensjon.

Formel 5

$$u_{\%} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2}$$

Forklaring av formel 5:

$u_{\%}$: fuktprosent i klossen

m_1 : masse før tørkeskap (g)

m_2 : masse etter tørkeskap (g)

Tabell 8: Verdier for fuktighet inndelt etter dimensjon.

Dimensjon (mm)	Antall tester (n)	Maks fuktighet (%)	Min fuktighet (%)	Gjennomsnitt fukt (%)
50x100	196	12,95	9,28	11,30
50x150	180	12,66	9,76	11,05
50x100	35	11,55	8,55	10,38
Totalt	411	12,95	8,55	11,11

2.6 Databearbeiding og korrigering

Krav til densitet og MOE definert i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) gjelder for 12% fuktighet i materialet, og selv om materialet skal være både tørket og kondisjonert til 12% er det naturlig at fuktigheten varierer noe. Bøyefasthet korrigeres for dimensjon i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a). Krav i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) forutsetter også at testing gjøres med oppsett som vist i EN 408 (Standard Norge, 2012a). For at testoppsettet i praksis skal kunne brukes må plankene være lange nok for oppsettet. Som vist i tabell 7 var det 14 planker som ble testet med avvik fra normalt testoppsett i henhold til EN 408 (Standard Norge, 2012a). For krav vist i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) forutsettes det at data blir korrigert som om forholdene for testing var slik det vises i EN 408 (Standard Norge, 2012a). NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) spesifiserer at korrigering av data skal gjøres i henhold til formel for korrigering gitt i NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b). Hver formel brukt for korrigering er utdypet i delkapittel 2.6.1-2.6.3.

2.6.1 Korrigering av densitet

Da det ble utregnet densitet med formel 3, ble det ikke hensyntatt hvor mange prosent av klossen som er vann. Når virket ble testet på laboratoriet var fuktigheten i snitt 11,1%, med laveste verdi 8,55% og høyeste verdi 11,30% vist i tabell 8. For å bedre sammenligningsgrunnlaget av plankene er det derfor hensiktsmessig å korrigere for fuktighet. Fuktkorrigering ble gjort i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a), og formel 6 ble brukt:

$$\text{Formel 6} \quad \rho = \rho_u \times (1 - 0,005(u - u_{ref}))$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 6:

ρ : densitet

u : plankens fuktinnhold under testen (mellom 8% og 18%)

u_{ref} : referanse for fuktighet (12%)

2.6.2 Korrigering av e-modul

MOE ble testet likt for alle planker av samme dimensjon, men ettersom MOE er negativt korrelert med fuktinnhold (Leandro, 1998; Stemstrud, 1965), skal MOE korrigeres for variasjon i fukt i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a). Det er derfor hensiktsmessig å korrigere MOE for fukt. Korrigering av MOE for planker innenfor 8-18% fuktighet ble gjort i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a), se formel 7:

$$\text{Formel 7} \quad E_0 = E_{0,u} \times (1 + 0,01 \times (u - u_{ref}))$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 7:

E_0 : Fuktkorrigert MOE

u_{ref} : referanse for fuktighet (12%)

2.6.3 Korrigering av bøyefasthet

MOR skal potensielt korrigeres 2 ganger i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a), en for plankens lengde og en for høyde. Lengdekorrigering skal gjøres dersom test av MOR har blitt gjort med en annen lengde mellom opplagringspunkter enn 18h (se figur 4). For datasettet i denne studien ble 14 planker korrigert for lengde, med å dividere på k_l vist i formel 8 hvor formelen er hentet fra NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a):

$$\text{Formel 8} \quad k_l = \left(\frac{48h}{l_{et}} \right)^{0,2}$$

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

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 8:

k_l : faktor for justering av MOR ved annen testlengde enn 18h

l_{et} : effektiv testlengde (mm)

l : avstand mellom opplagringspunkt (mm)

a_f : avstand mellom belastningspunkter under testen (mm)

h : plankens høyde (mm)

Både a_f og l er verdier hentet ut for test av MOR.

For planker med høyde mindre enn 150 mm skal MOR korrigeres ved å dividere testverdi for MOR på faktoren k_h (Standard Norge, 2022a). For datasettet i denne oppgaven ble det korrigert basert på nominell høyde, og alle planker i dimensjon 50x100 mm ble dermed korrigert etter formel 9 hentet fra NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a):

Formel 9

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 9:

h : plankens høyde (mm)

2.7 Beregning og verifisering av karakteristiske verdier

For å ta høyde for usikkerhet tilknyttet gjennomsnittsverdi beregnes karakteristiske verdier med nedre grense for 75% konfidensintervall, i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b). Beregning og verifisering av karakteristiske verdier må gjøres før testverdier kan sammenlignes med krav i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a). For å få godkjent et sorteringssystem må nedre 5% persentil for densitet og MOR dokumenteres, og gjennomsnittsverdi for MOE (Standard Norge, 2016a).

Beregning i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b) ble beregnet for hver enkelt sorteringsklasse i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009). Beregning ble også gjort for klasse «T2 og bedre», en klasse bestående av klasse T2 og T3 med de samme kravene som T2. Klassene fikk tre underkategorier i beregninger, en for alle planker innad i sorteringsklassen, en for alle planker innad i sorteringsklassen sør for Saltfjellet, og en for alle planker innad i sorteringsklassen nord for Saltfjellet.

NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b) deler inn bruk av formler etter parametrisk tilnærming, ikke-parametrisk tilnærming og beregning av karakteristiske gjennomsnittsverdier, utdypet i delkapittel 2.7.1-2.7.3. Valg av beregningsmetode er gjort i henhold til NS-EN 14358, og valgte beregningsmetoder er vist i tabell 9.

Tabell 9: Oversikt over tilnærming og fordeling i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b), inndelt etter område og sorteringsklasse i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009).

Område	Sorteringsklasse	Antall planker (n)	Parametrisk/ikke-parametrisk	Fordeling
Total	T1	113	ikke-parametrisk	log normalfordelt
	T2	207	ikke-parametrisk	normalfordelt
	T3	80	ikke-parametrisk	normalfordelt
	T2 og bedre	287	ikke-parametrisk	normalfordelt
Nord	T1	68	ikke-parametrisk	log normalfordelt
	T2	121	ikke-parametrisk	log normalfordelt
	T3	59	parametrisk	normalfordelt
	T2 og bedre	180	ikke-parametrisk	normalfordelt
Sør	T1	46	parametrisk	log normalfordelt
	T2	86	ikke-parametrisk	normalfordelt
	T3	22	parametrisk	log normalfordelt
	T2 og bedre	108	parametrisk	normalfordelt

2.7.1 Parametrisk tilnærming

Beregningsmetode med parametrisk tilnærming inndeles etter normalfordelt og log-normalfordelt datasett (Standard Norge, 2016b). At noe er parametrisk betyr at det har en forventet sannsynlighetsfordeling. Dersom data ikke passer i den antatte fordelingen skal ikke-parametrisk metode brukes, se delkapittel 2.7.2. For styrkesparametere skal det forutsettes log-normalfordeling, dersom det ikke kan vises at normalfordeling passer bedre. For test av normalfordeling der det var aktuelt, ble det brukt Anderson Darling og Shapiro-Wilk test, med krav til p-verdi $>0,05$. Formler gitt henholdsvis normalfordeling og log-normalfordeling er vist og forklart nedenfor. Formlene i delkapittel 2.7.1 gjelder for beregning av 5% nedre persentil med 75% konfidensintervall gitt parametrisk tilnærming.

Formel 10 for gjennomsnitt basert på log-normalfordeling, hentet fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

Formel 10

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

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 10:

$\bar{y}_{log}$: log-normalfordelt gjennomsnitt

n: antall testverdier

m_i : individuell testverdi for den stokastiske variabelen m

Formel for standardavvik basert på log-normalfordeling, hentet fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

Formel 11

$$s_{y_{log}} = \max \left\{ \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln m_i - \bar{y}_{log})^2}, 0,05 \right\}$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 11:

$s_{y_{log}}$: log-normalfordelt standardavvik

n : antall testverdier

m_i : individuell testverdi for den stokastiske variabelen m

$\bar{y}_{log}$: log-normalfordelt gjennomsnitt

Formel for 5% persentil verdi av den stokastiske variabelen m_k :

Formel 12

$$m_k = \exp (\bar{y}_{log} - k_s(n)s_{y_{log}})$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 12, hentet fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b):

$\bar{y}_{log}$: log-normalfordelt gjennomsnitt

$s_{y_{log}}$: log-normalfordelt standardavvik

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

$k_s(n)$ har en egen formel i NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b), og fungerer som en faktor i formel 12 for beregning av m_k gitt 5% prosentil og konfidensintervall på 75%. n er antall testverdier.

Gitt at normalfordeling passer bedre enn log-normalfordeling ble formel 13 hentet fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b) brukt for å beregne gjennomsnitt:

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

Formel 13

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

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 13:

$\bar{y}$: normalfordelt gjennomsnitt

n: antall testverdier

m_i : individuell testverdi for den stokastiske variabelen m

I de tilfeller hvor normalfordeling passet bedre enn log-normalfordeling ble formel 14 brukt for å beregne standardavvik. Formelen er hentet fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b).

Formel 14

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

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 14:

s_y : normalfordelt standardavvik

n: antall testverdier

m_i : individuell testverdi for den stokastiske variabelen m

$\bar{y}$: normalfordelt gjennomsnitt

For beregning av nedre 5% persentil verdi av den stokastiske variabelen m_k ble formel 15 brukt. Formelen er hentet fra NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b).

Formel 15

$$m_k = \bar{y} - k_s(n)s_y$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 15:

$\bar{y}$: normalt gjennomsnitt

s_y : normalfordelt standardavvik

$k_s(n)$ er forklart under formel 12

2.7.2 Ikke-parametrisk tilnærming

I tilfeller hvor datasettet inneholdt minst 40 testverdier, kunne ikke-parametrisk tilnærming brukes (Standard Norge, 2016b). At noe er ikke-parametrisk betyr at det ikke har en forventet sannsynlighetsfordeling. For beregning av 5% nedre persentil med 75% konfidensintervall gitt ikke-parametrisk tilnærming ble formel 16 brukt:

Formel 16

$$m_k = y_{0.5} \left(1 - \frac{k_{0.5,0.75} V}{\sqrt{n}} \right)$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 16:

n : antall testverdier i datasettet

m_k : 5% nedre grense gitt 75% konfidensintervall

$y_{0.5}$: 5% persentil fra testdata

V : variasjonskoeffisient

$k_{0.5,0.75}$: faktor for å få 5% nedre persentil gitt 75% konfidensintervall, utregnet med formel 17:

Formel 17

$$k_{0.5,0.75} = \frac{0,49n + 17}{0,28n + 7,1}$$

2.7.3 Beregning av karakteristisk gjennomsnittsverdi

For materialets stivhet, altså MOE, skal karakteristisk gjennomsnittsverdi beregnes med formel 18 i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b). Forutsetning for å bruke formelen er krav til konfidensintervall, kjent antall testverdier, normalfordelt datasett, og uavhengige målinger.

Formel 18

$$m_{mean} = \bar{y} - k_s(n)s_y$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 18:

m_{mean} : karakteristisk gjennomsnittsverdi for MOE

$\bar{y}$: gjennomsnitt, forklaring gitt ved formel 13

s_y : standardavvik, forklaring gitt ved formel 14

n : antall testverdier i datasettet

$k_s(n)$ er forklart ved formel 19, og skal brukes når det er krav til konfidensintervall (Standard Norge, 2016b).

Formel 19

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

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 19:

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

2.8 Statistiske analyser

Modellutformingen er en «linear mixed model», som kan inkludere både tilfeldige og faste effekter. Modellutformingen ble brukt fordi det forutsettes både avhengige og uavhengige variabler, og faste og tilfeldige variabler i datasettet. Det forventes avhengighet mellom trær innad i samme bestand, avhengighet mellom stokker fra samme tre, og avhengighet mellom planker fra samme stokk. Tilfeldige og faste effekter er vist i tabell 10. For sammenheng mellom MOR og densitet, MOR og MOE, MOR og kantsidekvist, MOR og flatsidekvist, MOR og kvistgruppe, og MOE og densitet ble det også brukt linear mixed model grunnet forutsetning om avhengige variabler. For sammenheng mellom densitet og årringbredde ble omvendt proporsjonal modell brukt.

Formel 20 ble brukt ved utarbeiding av prediksjonsmodeller for henholdsvis densitet, MOR og MOE.

Formel 20

$$Y = \mu + f(A, B, C, \dots) + T(S)_j + e_{j,i}$$

Forklaring av tegn og bokstaver i formel 20:

Y : Predikert densitet, MOR eller MOE

μ : skjæringspunkt (varianskomponentens gjennomsnitt)

$f(A, B, C, \dots)$: faste effekter

$T(S)_j$: tilfeldig effekt av trær, variansen mellom trær. j er tre, totalt var det 35 trær.

$e_{j,i}$: varians mellom planker fra samme tre.

Datamateriale uten trenummer og stokknummer, eller med mistanke om feilaktig nummerering ble ekskludert for utvikling av modeller, da det ikke passet til modellutforming vist i formel 20. Før utvikling av prediksjonsmodeller for MOR, MOE og densitet, ble valg av variabler begrenset til praktisk anvendbare variabler. Det var til hensikt med modellene at de skulle være anvendbare for skogsentreprenører og sagbruk.

I utvikling av prediksjonsmodeller for MOR, MOE og densitet ble faste variabler (tabell 10) kontrollert med et signifikansnivå $p=0,05$. Faste variabler ble lagt inn i samme modell, og den faste variabel med dårligst signifikans ble fjernet, fram til alle faste variabler i modellen hadde oppnådd signifikansnivå. Ingen modeller inkluderer faste effekter på bestandets beliggenhet (MOH, breddegrader, lengdegrader), da de faste effekter for bestandets beliggenhet ikke ble signifikant.

Tabell 10: Oversikt av forklaringsvariabler og forkortelser brukt i studiens modeller og i resultater.

Variabler	Forkortelse	Enhet
Tilfeldige effekter		
Bestand		
Trenummer		
Faste effekter		
Bøyefasthet	MOR	N/mm ²
Elastisitetsmodul ved 12% fuktighet	MOE	kN/mm ²
Densitet ved 12% fuktighet	ρ	kg/m ³
Største kantkvist	KK	mm
Største flatsidekvist	FK	mm
Største kvistgruppe	KG	mm
Relativ høyde i treet	H _{Rel} %	%
Relativ kronelengde	KL _{Rel} %	%
Årringbredde	ÅB	mm

Relativ høyde i treet er et forholdstall mellom avstand fra rot til plankens målesenter (kapittel 2.4.1) og treets totale høyde. Relativ kronelengde er et forholdstall mellom kronens lengde og total høyde, hvor kronens lengde er lengde fra treets topp ned til laveste krans kun bestående av grønne kvister. Kronens nedre del ble definert som der det var 360 grader levende kvistkrans.

For å se hvordan faste effekter i modeller for densitet, MOR og MOE reduserer den tilfeldige variasjonen, ble det gjort varianskomponentanalyse uten faste effekter. Nevnte analyse går ut

på å se hvor mye av den tilfeldige variasjonen som ilegges faste effekter, og hvor mye som ilegges tilfeldige effekter. Med verdier fra varianskomponentanalyse kan de faste effektene i modellene sammenlignes for hvordan de har redusert tilfeldig variasjon.

For å se hvor mye av variasjonen de faste effektene forklarte ble det beregnet R^2 , der R^2 er et tall mellom 0 og 1, og høy verdi indikerer at de faste effektene forklarer mye av variasjonen. For beregning av R^2 ble formel 21 brukt:

Formel 21

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}$$

Forklaring av formel 21:

RSS: Variansen til modellens residual

TSS: Datamaterialets totale varians

RMSE er et mål på det gjennomsnittlige residual, og det er ønskelig med så lav RMSE som mulig da det indikerer god treffbarhet for modellen opp mot datamaterialet. For beregning av RMSE ble formel 22 brukt:

Formel 22

$$RMSE = \sqrt{RSS}$$

Forklaring av formel 22:

RSS: Variansen til modellens residual

3. Resultater

Gjennomsnittlig MOR for alle bestand var 43,3 N/mm² (tabell 11), med høyeste registrerte MOR målt til 66,5 N/mm² og laveste målt til 12,5 N/mm². Steigen hadde høyest gjennomsnittlig MOR på 46,3 N/mm², og Hattfjelldal hadde lavest gjennomsnittlig MOR med 40,6 N/mm². MOR var i snitt 43,7 N/mm² nord for Saltfjellet og i snitt 42,7 N/mm² sør for Saltfjellet. Antallet planker varierer mellom bestandene, hvor Saltdal har tilnærmet dobbelt så mange planker som Steigen.

Gjennomsnittlig MOE for alle bestand var 11,4 kN/mm², vist i tabell 11. Høyeste MOE ble målt til 16,3 kN/mm² og kom fra Hattfjelldal, laveste MOE ble målt til 6,4 kN/mm², også fra Hattfjelldal. Av alle bestand hadde Mo i Rana den høyeste gjennomsnittlige MOE på 12,11 kN/mm², etterfulgt av Steigen på 11,6 kN/mm². Lavest snittverdi har Hattfjelldal med 10,7 kN/mm².

Gjennomsnittlig densitet ved 12% fuktighet var 427 kg/m³, med et standardavvik på 35,4 kg/m³, se tabell 11. Plankene fra Steigen hadde den høyeste densitet med et snitt på 448 kg/m³ som også var bestanden med lavest bonitet. Lavest densitet hadde Saltdal med 417 kg/m³, og var sammen med Beiarn det bestanden med høyest bonitet. Størrelsen på standardavvik til densitet er relativt lik for alle bestand, men er størst for Hattfjelldal og minst for Saltdal.

Tabell 11: Gjennomsnitt og standardavvik for MOR, MOE og densitet inndelt etter bestand.

Bestand	Årringbredde (mm)	Antall planker (n)	MOR (N/mm ²)		MOE (kN/mm ²)		ρ (kg/m ³)	
			Snitt	STD	Snitt	STD	Snitt	STD
Steigen	1.74	57	46.3	7.2	11.6	1.4	448	35.3
Hattfjelldal	1.91	88	40.6	10.6	10.7	2.2	425	37.7
Beiarn	1.74	89	43.4	8.1	11.6	1.6	421	32.3
Mo i Rana	1.84	71	45.4	8.5	12.1	1.4	435	33.3
Saltdal	1.87	106	42.6	8.3	11.1	1.3	417	32.0
NFS	1.79	252	43.7	8.1	11.4	1.4	425	34.9
SFS	1.87	159	42.7	10.0	11.3	2.0	430	36.1
Totalt	1.83	411	43.3	8.9	11.4	1.7	427	35.4

Varianskomponentanalyser vist i tabell 12 er uten faste effekter, og er fordelt mellom varians mellom trær og varians mellom planker innad i trær. For MOR ble 49,19% av variasjonen forklart av forskjell mellom trær fra forskjellige felter (σ_T^2). Residualverdi (σ_e^2) forklarte 50,81% av variasjonen for MOR. 60,92% av MOE varians skyldes forskjeller mellom trær, og

resterende 39,08% av variasjonen skyldes varians mellom planker innad i trær. For densitet forklares 75,62% av variansen forskjeller mellom trær, og 24,38% av variansen skyldes varians mellom planker innad i trær. For MOR forklarte residualen mer enn forskjeller mellom trær, for MOE og densitet var det motsatt.

En oversikt over statistikk for modeller er vist i tabell 12, og modellene er vist i tabell 13. Modeller for MOR er mer utdypende forklart i delkapittel 3.1.1, MOE i delkapittel 3.1.2 og densitet i delkapittel 3.1.3.

Tabell 12: Statistiske data for varianskomponenter, R^2 og RMSE i forbindelse med multiple modeller til MOR, densitet og MOE.

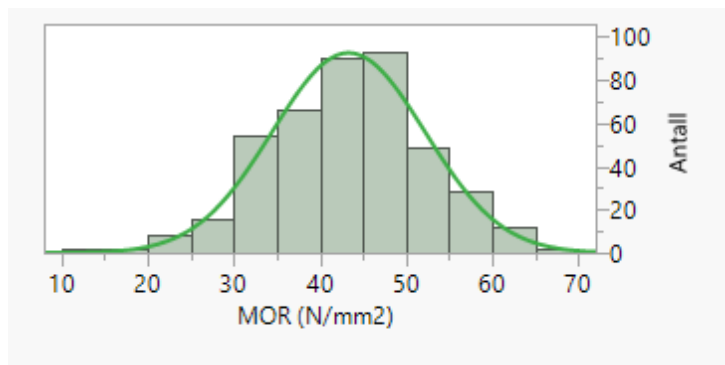
Y	Modellnummer	R^2	RMSE	Varianskomponenter		
				σ_T^2	σ_e^2	σ_{Tot}^2
MOR				39,55	40,85	80,40
MOR	1	0,135	8,27	31,23	40,15	71,39
MOR	2	0,2937	7,47	16,84	40,47	57,31
MOR	3	0,4396	6,66	8,56	36,32	44,89
MOE				1,879	1,205	3,084
MOE	4	0,3876	1,35	0,694	1,138	1,832
Densitet				1057,5	341,0	1398,4
Densitet	5	0,5363	24,12	663,0	256,6	919,7

Tabell 13: Multiple modeller for MOR, densitet og MOE, fra tabell 12.

Y	Modellnummer	Modell
MOR	1	$58.1 - 28.220 * KL_{rel}\% - 5.689 * H_{rel}\%$
MOR	2	$28.273 - 7.197 * H_{rel}\% - 3.607 * \text{\AA}B + 0.057 * \rho$
MOR	3	$27.201 + 0.071 * \rho - 0,36 * KK - 0,151 * KG$
MOE	4	$6,362 + 0,016 * \rho - 0,057 * KK - 0,461 * \text{\AA}B$
Densitet	5	$537,444 + 42,85 * H_{rel}\% - 18,251 * \text{\AA}B - 0,317 * DBH$

3.1 Bøyefasthet

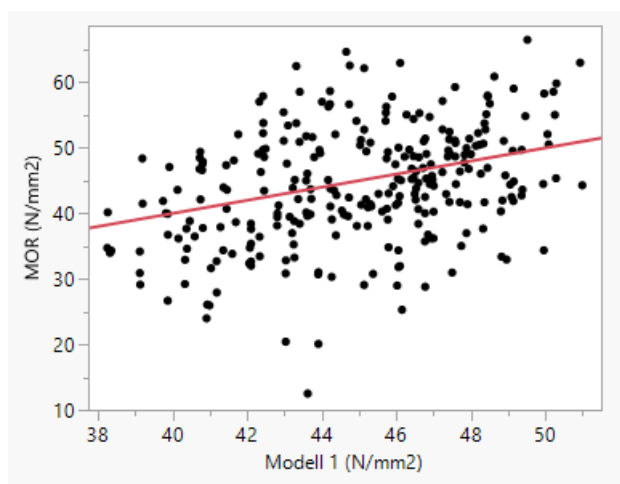
Shapiro-Wilk test viste ikke signifikant avvik fra normalfordeling ($\text{Prob} < W = 0,7727$), til tross for at fordelingen er noe skjev mot høyre (figur 5).



Figur 5: Fordelingskurve av MOR, N=411.

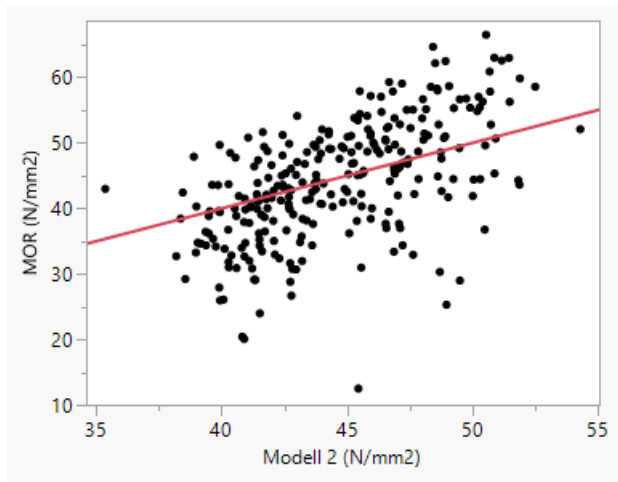
Multiple modeller for bøyefasthet

Modell 1 (tabell 12) vist i figur 6 er en multippel modell for MOR, og de faste effektene i modellen forklarer 13,5% av den tilfeldige variasjonen. Både $KL_{rel}\%$ ($F=7,34$, $p=0,0105$) og relativ høyde i treet ($F=6,00$, $p=0,015$) virker negativt inn på MOR.



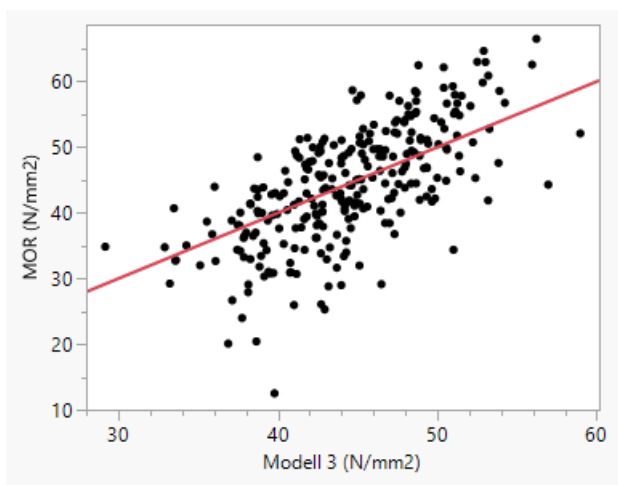
Figur 6: Treffbarhet for modell 1 mot MOR. Rød linje er tvunget gjennom origo med stigningstall 1, N=275.

Modell 2 (tabell 12) vist i figur 7 er en multippel modell for MOR, hvor de faste effektene i modellen forklarer 29,37% av den tilfeldige variasjonen. Relativ høyde i treet ($F=8,54$, $p=0,0038$) har negativ innvirkning på MOR, det samme gjelder for årringbredden ($F=9,17$, $p=0,0027$). Densiteten har positiv innvirkning på MOR ($F=8,83$, $p=0,0036$).



Figur 7: Treffbarhet for modell 2 mot MOR. Rød linje er tvunget gjennom origo med stigningstall 1, N=275.

Modell 3 (tabell 12) figur 8 er en multippel modell for MOR. De faste effektene forklarer 43,96% av den tilfeldige variasjonen. Densiteten ($F=23,14$, $p<.0001$) har positiv innvirkning på MOR. Største kantkvist ($F=21,85$, $p<.0001$) påvirker MOR negativt, det samme gjelder største kvistgruppe ($F=28,88$, $p<.0001$).



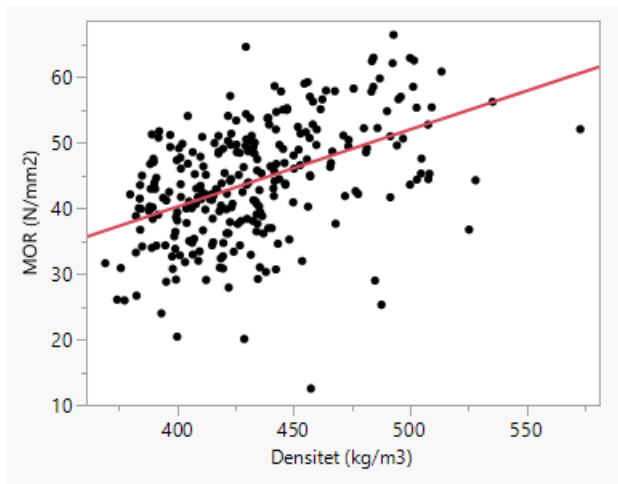
Figur 8: Treffbarhet for modell 3 mot MOR. Rød linje er tvunget gjennom origo med stigningstall 1, N=275.

Sammenheng mellom densitet og MOR

MOR er positivt korrelert med densitet, vist i figur 9. Den estimerte sammenhengen er presentert i formel 23, og densitet forklarte 22,1% av variasjonen i MOR. Densiteten har signifikant effekt ($p<.0032$), men som figur 9 viser er det stor residualvarians.

Formel 23

$$MOR = -6,918 + 0,118 * \rho$$

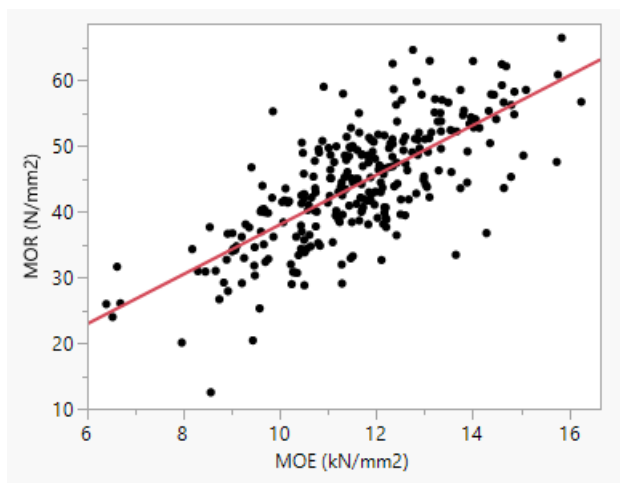


Figur 9: Sammenheng mellom MOR og densitet. Den røde linjen er formel 23, N=275.

MOR er positivt korrelert med MOE, vist i figur 10. Den estimerte sammenhengen er presentert i formel 24, og MOE forklarer 55,86% av variasjon i MOR. MOE har signifikant effekt på MOR ($p < .0001$). Formel 24 er uttrykket for den røde linjen i figur 10.

Formel 24

$$MOR = 0,334 + 3,775 * MOE$$



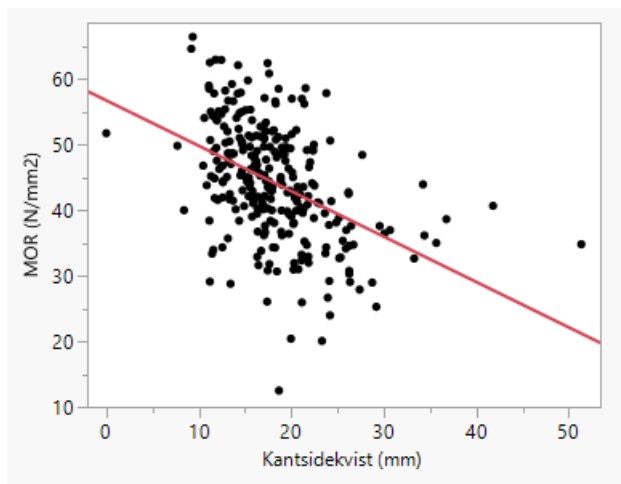
Figur 10: Sammenheng mellom MOR og MOE. Den røde linjen er formel 24, N=275.

Bøyefasthet og kvist

MOR er negativt korrelert med kantsidekvist, vist i figur 11. Den estimerte sammenhengen er presentert i formel 25, og kantsidekvist forklarer 19,37% av variasjon i MOR. Kantsidekvist har signifikant effekt på MOR ($p = 0,0007$), og hadde gjennomsnittlig diameter på 18,48 mm. Formel 25 er uttrykket for den røde linjen i figur 11.

Formel 25

$$MOR = 52,94 - 0,427 * KK$$

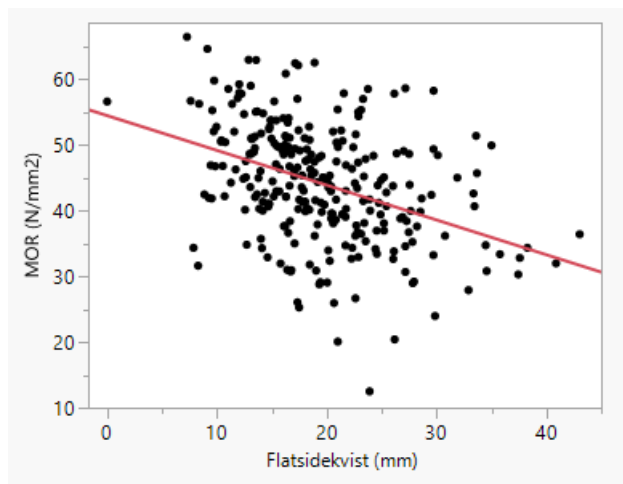


Figur 11: Enkel lineær regresjon for sammenheng mellom MOR og kantsidekvist. $p < .0001$, $N=275$.

MOR er negativt korrelert med flatsidekvist, vist i figur 12. Den estimerte sammenhengen er presentert i formel 26, og flatsidekvist forklarer 15,47% av variasjon i MOR. Flatsidekvist har signifikant effekt på MOR ($p=0,0008$), og hadde gjennomsnittlig diameter på 19,68 mm. Formel 26 er uttrykket for den røde linjen i figur 12.

Formel 26

$$MOR = 50,29 - 0,261 * FK$$

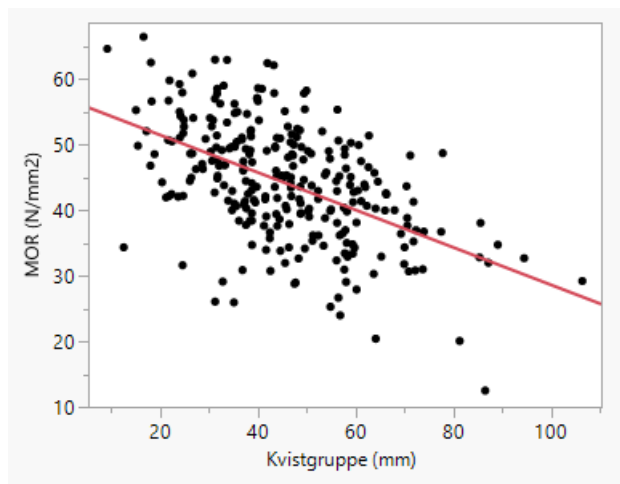


Figur 12: Enkel lineær regresjon for sammenheng mellom MOR og flatsidekvist. $p < .0001$, $N=275$.

MOR er negativt korrelert med kantsidekvist, vist i figur 13. Den estimerte sammenhengen er presentert i formel 27, og kvistgruppe forklarer 26,69% av variasjon i MOR. Kvistgruppe har signifikant effekt på MOR ($p=0,0011$), og hadde gjennomsnittlig diameter på 45,68 mm. Formel 27 er uttrykket for den røde linjen i figur 13.

Formel 27

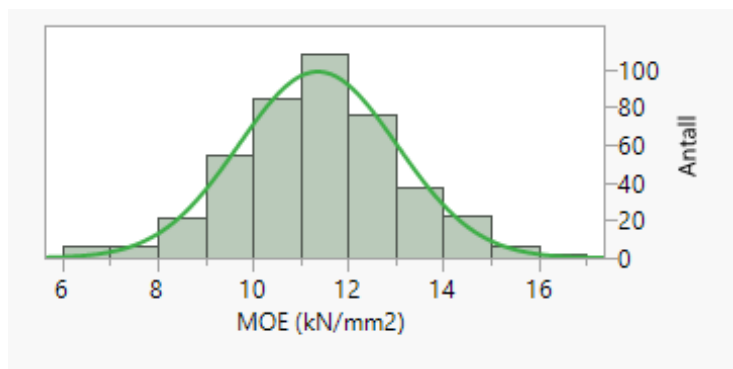
$$MOR = 53,45 - 0,182 * KG$$



Figur 13: Enkel lineær regresjon for sammenheng mellom MOR og kvistgruppe. $p < .0001$, $N = 275$.

3.2 E-modul

Shapiro-Wilk test viste ikke signifikant avvik fra normalfordeling ($\text{Prob} < W = 0,2401$), men normalfordelingen er noe skjev mot venstre, se figur 14.



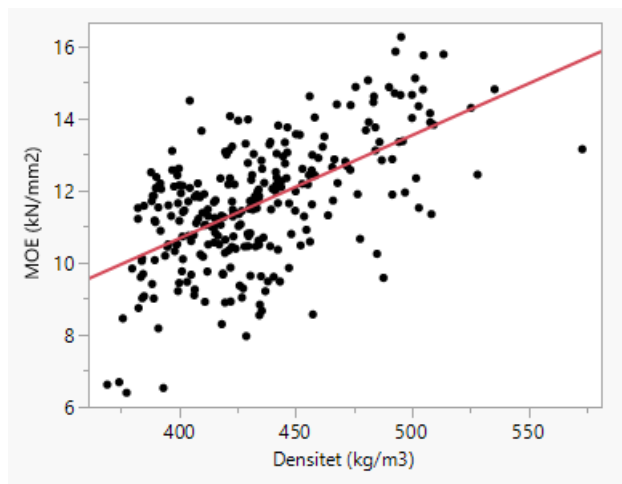
Figur 14: Fordeling av verdier for e-modul korrigert i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a)., $N = 411$

Sammenheng mellom MOE og densitet

MOE er positivt korrelert med densitet, vist i figur 15. Den estimerte sammenhengen er presentert i formel 28, og densitet forklarte 34,68% av variasjonen i MOE. Densiteten har signifikant effekt ($p = 0,0002$). Det ble forsøkt annengradsfunksjon, men lineær funksjon både forklarte og passet bedre.

Formel 28

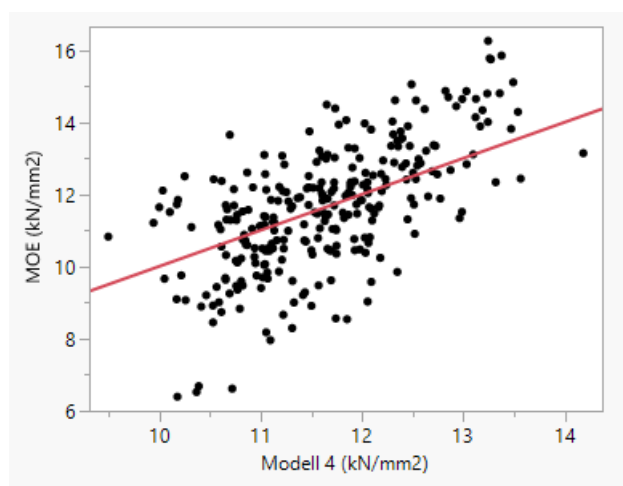
$$MOE = -0.807 + 0,029 * \rho$$



Figur 15: Sammenheng mellom MOE og densitet. Den røde linjen er formel 28, $N=275$.

Multipel modell for MOE

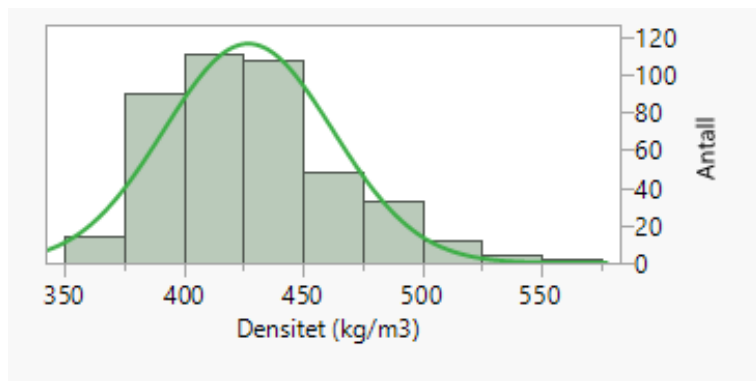
Modell 4 (tabell 12) vist i figur 16 er en multipel modell for MOE, hvor de faste effektene i modellen forklarer 38,76% av den tilfeldige variasjonen. Densitet ($F=25,87$, $p<.0001$) har positiv innvirkning på MOE, og årringbredden har negativ innvirkning ($F=18,37$, $p<.0001$).



Figur 16: Treffbarhet for modell 4 mot MOE. Rød linje er tvunget gjennom origo med stigningstall 1, $N=275$.

3.3 Densitet

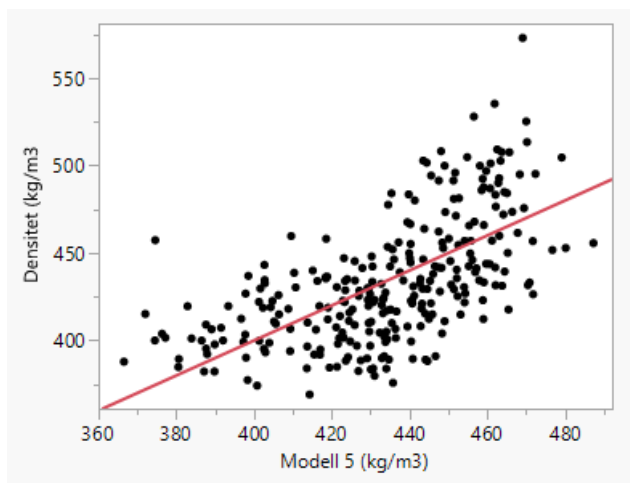
Shapiro-Wilk test viste sigifikant avvik fra normalfordeling ($\text{Prob}<W= <.0001$). Fordelingen er skjev mot venstre med en hale ut høyre, se figur 17.



Figur 17: Fordeling av verdier for densitet korrigert til 12% fuktighet, N=413.

Multipel modell for densitet

Modell 5 (tabell 12) vist i figur 18 er en multipel modell for densitet, hvor de faste effektene i modellen forklarer 53,63% av den tilfeldige variasjonen. Relativ høyde i treet har positiv innvirkning på densitet ($F=52,58$, $p<.0001$). Årringbredde har negativ innvirkning på densitet ($F=36,06$, $p<.0001$), det samme gjelder DBH ($F=12,63$, $p=0,0012$).



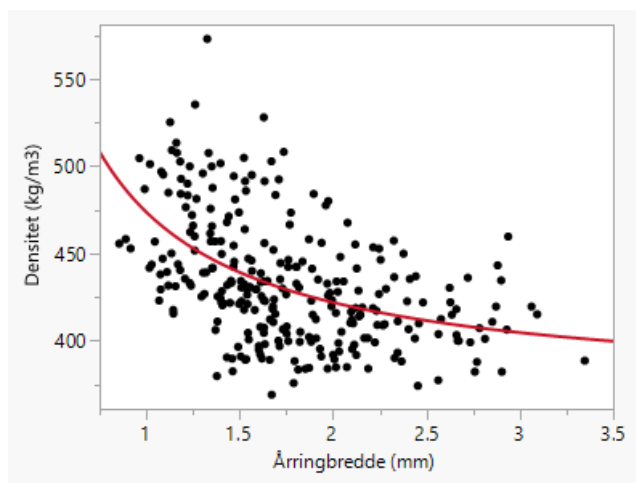
Figur 18: Treffbarhet for modell 5 mot densitet. Rød linje er tvunget gjennom origo med stigningstall 1, N=275.

Sammenheng mellom densitet og årringbredde

Densiteten er negativt korrelert med årringbredde, vist i figur 19. Årringbredde forklarte 20,6% av densitetens varians (formel 29). Formelen viser en omvendt proporsjonal sammenheng mellom densitet og årringbredde, hvor modellen har horisontal asymptote ved 369,34 kg/m³. Den største årringbredden ble målt til 3,85 mm og kom fra Hattfjelldal. Lavest registrerte årringbredde var 0,86 mm og kom fra Beiarn.

Formel 29

$$\rho = 370,19 + \frac{103,52}{\text{ÅB}}$$



Figur 19: Sammenheng mellom densitet og årringbredde. Den røde linjen er formel 29. $p < .0001$, $N = 275$.

3.4 NS-INSTA 142

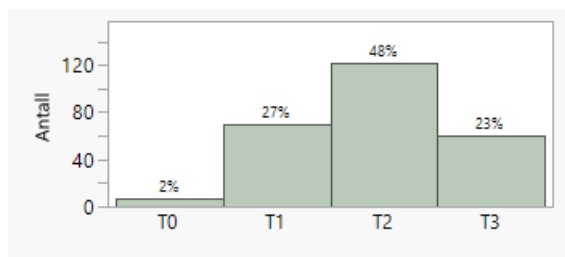
Visuell styrkesortering etter fasthetsreducerende egenskaper i NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) ga flest planker i klasse T2 (tabell 14), og færrest planker i klasse VRAK. Andelen planker klassifisert til VRAK var enten fraværende eller lav for alle bestand. Totalt ble 0.7% av alle planker sortert til VRAK som følge av begrensninger for fasthetsreducerende egenskaper. Felles for alle bestand var at T2 utgjorde største andel, mellom bestand er det likevel variasjon i klassifisering. Beiarn var bestandet med høyest andel planker sortert til klasse T3 (27%), og Hattfjelldal var bestandet med lavest prosentandel for T3 (10%). Beiarn var eneste bestand hvor andel T1 var lavere enn andel T3. Saltdal var bestandet med flest planker totalt, etterfulgt av Beiarn, Hattfjelldal og Mo i Rana.

Tabell 14: Fordeling av antall planker inndelt etter bestand og sorteringsklasse i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009). Tall i parentes representerer prosentandel planker av bestandet.

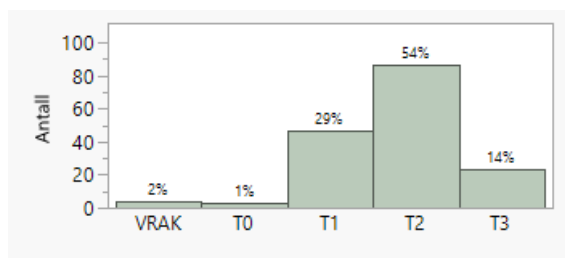
Bestand	VRAK		T0		T1		T2		T3		Total	
Steigen	0	(0%)	0	(0%)	14	(25%)	29	(51%)	14	(25%)	57	(100%)
Hattfjelldal	1	(1%)	1	(1%)	29	(33%)	48	(55%)	9	(10%)	88	(100%)
Saltdal	0	(0%)	1	(1%)	33	(31%)	52	(49%)	20	(19%)	106	(100%)
Beiarn	0	(0%)	5	(5%)	21	(23%)	40	(44%)	25	(27%)	91	(100%)
Mo i Rana	2	(3%)	1	(1%)	17	(24%)	38	(54%)	13	(18%)	71	(100%)
Totalt	3	(1%)	8	(2%)	114	(28%)	207	(50%)	81	(20%)	413	(100%)

Andelen planker klassifisert til T1 var større enn andelen planker klassifisert til T3 for datasettet, vist i tabell 14, det samme gjelder både nord og sør for Saltfjellet (figur 20 og 21). Antallet planker representert nord for Saltfjellet (61,5%) var større enn sør for Saltfjellet

(38,5%). Andelen planker i hver sorteringsklasse er relativt lik nord og sør for Saltfjellet, hvor T2 er den klassen med høyest andel, etterfulgt av T1 og T3. Alle planker sortert til VRAK kom fra nordsiden av Saltfjellet (figur 21).



Figur 20: Inndeling av plankers klassifisering nord for Saltfjellet. Totalt antall planker nord for Saltfjellet er 254.



Figur 21: Inndeling av plankers klassifisering sør for Saltfjellet. Totalt antall planker nord for Saltfjellet er 159.

Med inndeling av sorteringsklasser i henhold til INSTA 142 (Standard Norge, 2009) får klasse T3 den høyeste gjennomsnittlige verdi for MOR med 48,14 N/mm² (tabell 15), laveste verdi for MOR har klasse T1 med 39,67 N/mm². Gjennomsnittlig verdi for MOE var høyest for T3, etterfulgt av «T2 og bedre». Sorteringsklasse T1 hadde laveste verdi for MOE med 10,8 kN/mm². Sorteringsklasse T1 har høyest gjennomsnittlig densitet med 428 kg/m³, men det er liten forskjell i gjennomsnitt for densitet mellom sorteringsklassene.

Tabell 15: Nedre 5% persentil, gjennomsnitt og standardavvik for korrigert MOR, korrigert lokal MOE og korrigert densitet i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a).

Klassifisering	Årring- bredde	Antall (n)	MOR (N/mm ²)			MOE (kN/mm ²)			ρ (kg/m ³)		
			f _{0,05}	$\bar{y}_f$	S _f	E _{0,05}	$\bar{y}_E$	S _E	ρ _{0,05}	$\bar{y}_\rho$	S _ρ
T1	1,90	113	28,7	39,67	7,79	8,5	10,8	1,45	384	428	30,7
T2	1,86	207	30,4	44,07	8,19	8,9	11,5	1,69	377	427	37,7
T3	1,61	80	34,1	48,14	8,37	9,6	11,9	1,58	374	426	36,4
T2 og bedre	1,79	287	31,5	45,20	8,43	9,0	11,6	1,67	377	427	37,3

Som vist i tabell 16 varierer kvalitetsfordelingen mellom dimensjonene. Dimensjon 50x100 mm hadde flest planker, og dimensjon 50x200 mm hadde færrest planker. Alle planker sortert til

VRAK er i dimensjon 50x100 mm. For alle dimensjoner utgjorde sorteringsklasse T2 den største andelen. Dimensjon 50x200 mm er eneste dimensjon uten planker i klasse VRAC og T0.

Tabell 16: Fordeling av styrkesortert plank etter dimensjoner. Tall i parentes er andelen planker i gjeldende dimensjon og sorteringsklasse.

Dimensjon (mm)	VRAC		T0		T1		T2		T3		Totalt	
50x100	3	(2%)	7	(4%)	64	(33%)	90	(46%)	32	(16%)	196	(100%)
50x150	0	(0%)	1	(1%)	46	(25%)	97	(53%)	38	(21%)	182	(100%)
50x200	0	(0%)	0	(0%)	4	(11%)	20	(57%)	11	(31%)	35	(100%)
Totalt	3	(1%)	8	(2%)	114	(28%)	207	(50%)	81	(20%)	413	(100%)

3.5 Karakteristiske verdier

Beregninger gjort i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b) er vist i tabell 17, og beregninger gjort i henhold til NS-EN 14358 fordelt nord og sør for Saltfjellet er vist i tabell 18. Beregningsmetode for de forskjellig for verdier vist i tabell 17 og 18, men tilnærming for valg av beregningsmetode vises i tabell 3. Klasse T0 er ekskludert grunnet lavt antall planker (n=8) i klassen, og usikkerheten for verdiene blir derfor for stor til å brukes.

Tabell 17: Karakteristiske verdier beregnet i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b), klassifisert etter NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009). Celler markert i oransje farge indikerer at sorteringsklassen ikke tilfredsstiller krav fra NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a).

Klassifisering	Antall (n)	MOR (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	ρ (kg/m ³)
		m _k	m _{mean}	m _k
T1	113	28.4	10.7	379
T2	207	29.7	11.4	377
T3	80	32.9	11.8	367
T2 og bedre	286	30.9	11.6	373

Tabell 18: Karakteristiske verdier beregnet i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b), klassifisert etter INSTA-142 (Standard Norge, 2009), inndelt etter nord/sør for Saltfjellet. Celler markert i oransje farge indikerer at sorteringsklassen ikke tilfredsstiller krav fra NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a).

Klassifisering	Nord/sør Saltfjellet	Antall (n)	MOR (N/mm ²)	MOE (kN/mm ²)	ρ (kg/m ³)
			m _k	m _{mean}	m _k
T1	Nord	68	29,3	11,0	372
	Sør	46	27,3	10,3	379
T2	Nord	121	33,2	11,4	372
	Sør	86	23,6	11,4	368
T3	Nord	59	32,2	11,5	367
	Sør	22	36,0	12,4	367
T2 og bedre	Nord	180	32,8	11,5	372
	Sør	108	27,0	11,7	369

4. Diskusjon

4.1 Metode

Ideelt sett skulle man hatt representativt utvalg fra hele Nordland, men datasettets størrelse er begrenset. Totalt ble 5 bestand med gran fra Nordland brukt i studien, og det kan stilles spørsmål om 5 bestand er nok til å dekke variasjonen i fylket. Data fra de 5 bestand ble brukt til beregning av gjennomsnittsverdier, og beregning av karakteristiske verdier. Av de 5 bestand som i utgangspunktet skulle brukes til modellering, var det kun data fra 4 bestand som ble brukt grunnet feil i datainnsamlingen. Materialet i denne studien er fra 9 trær fra hvert bestand, med mål om å dekke variasjonen i DBH. Metoden er vurdert til å dekke variasjonen innad i bestandet. Metode for både datainnsamling og databearbeiding er brukt av tidligere studier, da med annet antall bestand og antall trær fra hvert bestand (Fischer, 2016; Hillestad, 2024). Hillestad (2024) brukte samme metode for datainnsamling, men hadde færre bestand, og 3 trær fra hvert bestand. Hillestad konkluderte ikke med at bestand var representativt fremstilt.

Fremgangsmetode på laboratorium ble gjort i henhold til EN 408 (Standard Norge, 2012a). Ved klimatisering i forkant av testing ble kun 3 planker brukt til test av klimatisering (tabell 6). Her kunne flere planker blitt brukt for å bedre representativiteten til materialet for klimatisering. To av de tre plankene brukt i test for klimatisering var fra Steigen, her kunne planker fra flere bestand blitt brukt for å bedre dekke variasjonen i materialet. Fuktprosenten på alle planker i datamaterialet var innenfor intervallet 8-18% fuktighet og kunne dermed fuktkorrigeres i henhold til NS-EN 384 (Standard Norge, 2022a). Under tørking var hensikten å tørke ned til 12% fuktighet, men gjennomsnittlig fuktprosent var lavere. Ideelt sett skulle gjennomsnittlig fuktighet vært 12%. For måling av densitet ble prøvene tørket for så lagt i eksiator, men før prøvene ble lagt i eksiator kunne prøvene blitt målt med vekt for å forsikre at det ikke er vektendring før og etter eksiatoren.

Bestandet Hattfjelldal skiller seg fra de andre bestand med å ha svakeste snittverdi for MOR og MOE, og høyest standardavvik for densitet, MOR og MOE (tabell 11). Årsaken til stor variasjon i egenskaper for Hattfjelldal sammenlignet med resterende av datamaterialet kan være en sammensetning av flere faktorer. Delvis kan det skyldes at det var et avvik fra felt valgt ut i forsøksplanen og felt som ble med i studien. Uttaket i Hattfjelldal var fra et bestand hvor det var en 3-5 år gammel hogstflate på den ene siden, og på motsatt side var det en eldre forsøksflate med gruppevis stående gran. Gitt at bestandet er har en estimert alder på 76 år (tabell 4), kan man legge til grunn at det er usannsynlig at variasjonen som følge av en endring i omgivelser

vil påvirke variasjonen så sterkt på 3-5 år. Den gruppevise flaten på motsatt side kan ha gitt varierte lysforhold inn på flaten hvor virket fra Hattfjelldal ble tatt fra, og dertil også påvirket hvordan de trærne som ble tatt ut har vokst (Orman et al., 2023). For å forsikre at grana ikke ble tatt fra et forsøksfelt ble grensemerke fra forsøksfeltet funnet, men det mangler kunnskap om eventuelle tiltak tidligere forsøk har gjort rundt forsøksflaten. I sammenligning med resterende bestand hadde Hattfjelldal trær stående mer i klynger, og ikke den jevne planteavstanden produksjonsskog ofte har. Hattfjelldal skiller seg også med å være et av bestandene med høyest gjennomsnittlig DBH samtidig som bestandet har den laveste grunnflatesummen (tabell 4). Denne kombinasjonen taler for at Hattfjelldal sammenlignet med resterende bestand har stått relativt glissent.

4.2 Sammenligning med tidligere studier

Densitet er en av de mest studerte egenskapene for gran, og er blant de mest sentrale virkesegenskapene (Bramming, 2006; Fischer, 2016; Kucera, 1992; Nagoda, 1985b; Vestøl et al., 2012). MOR er i likhet densitet en sentral egenskap for konstruksjonsvirke (Birkeland et al., 2002; Treteknisk, 2009), det samme gjelder MOE. Det er gjort flere studier på disse egenskaper for gran i Norge, og det er derfor relevant å se denne studiens resultater i lys av tidligere sammenlignbare studier.

Fischer (2016) gjorde en studie av 14 bestand med gran fordelt på Sørlandet, Østlandet og i Trøndelag (fra 58,29 °N til 63,65 °Ø), hvor datamaterialet var fra voksen produksjonsskog. Med tilsvarende metode for måling av densitet som denne studien fikk Fischer (2016) en gjennomsnittlig densitet på 461 kg/m³, dermed høyere densitet enn i denne studien. For samme datamateriale som densitet, fant Fischer (2016) gjennomsnittlig MOR 50,7 N/mm², dermed høyere enn gjennomsnittlig MOR målt i denne studien. MOE var også høyere enn i denne studien, hvor Fischer (2016) fant gjennomsnittlig MOE ved 12% fukt til 13,4 kN/mm².

Høibø (1991) gjorde en studie av et bestand med gran voksende på G23 bonitet i Ås kommune på Østlandet. Med materiale fra kun et bestand er ikke Østlandet representativt fremstilt, og studien kan ikke brukes til å si noe om variasjonen i virkesegenskaper mellom bestand med gran fra Østlandet. Densiteten ble målt til et gjennomsnitt 395 kg/m³, hvilket er lavere enn i denne studien. Høibø (1991) fant også lavere MOR enn denne studien med 30,7 N/mm² i snitt. MOE korrelert til 12% fuktighet ble beregnet til 10,1 kN/mm², også lavere gjennomsnitt enn i denne studien.

Nagoda (1985a) gjorde en studie på gran fra Nord-Norge med totalt 23 trær med en gjennomsnittlig alder på 68 år, lavere enn gjennomsnittlig alder i denne studien. Nagoda (1985a) har ikke opplyst om metode for å dekke variasjonen i bestand materiale er tatt fra, og det vites derfor ikke om datamaterialet er representativt for bestandene. Han brukte materiale fra 1-2 trær per bestand, hvilket er lavere antall enn i denne studien. For hele datamaterialet kom Nagoda (1985a) fram til 403 kg/m^3 gjennomsnittlig densitet ved 12% fukt, dermed lavere enn denne studien. Nagoda (1985a) hadde gjennomsnittlig MOR på $36,6 \text{ N/mm}^2$. Det var ingen bestand fra denne studien som hadde så lav gjennomsnittlig MOR som Nagoda (1985a) fant (tabell 11), men det forekom enkeltvis målinger av så lav verdi (figur 5). MOE ved 12% fuktinnhold ble målt til $9,4 \text{ kN/mm}^2$, og er lavere enn i denne studien. Resultater for densitet, MOR og MOE i denne studien sammenlignet med Nagoda (1985a) viser at virkesegenskapene er bedret. Ettersom det er usikkert om denne studien dekker variasjonen i Nordland, hvilket også gjelder Nagoda (1985a), er det usikkert om virkesegenskapene i Nordland er bedret.

Nygaard (2003) har gjort en av de større undersøkelsene på gran fra Steigen i Nordland ($67,45^\circ \text{N}$, $15,15^\circ \text{Ø}$), hvor datagrunnlaget var 60 planker $38 \times 100 \text{ mm}$ og 60 planker $50 \times 100 \text{ mm}$, totalt 120 planker fra et G14 bestand forhåndssortert til fasthetsklasse C30. Med materiale kun fra et bestand vil ikke variasjonen i fylket bli dekket, og Nygaards rapport er derfor ikke representativ for Nordland. Nygaard (2003) brukte ikke samme metode som denne studien, og at det kun er virke maskinelt forhåndssortert til C30 som testes, som gjør at materiale i lavere fasthetsklasser ikke er representert. Nygaards (2003) påstand om at fordi driften var stor «er det derfor god grunn til å mene at dette er representativt for den kystnære skogreisningsgrana i Nordland, og at resultatene fra denne undersøkelsen kan overføres til å også gjelde skogreisningsgran fra andre steder i fylket» kan det derfor stilles spørsmål rundt. Gjennomsnittlig densitet for datamaterialet ved 12% fuktighet var 407 kg/m^3 , dermed lavere enn denne studien. MOR ble også målt for samme datamateriale, og gjennomsnittlig MOR ble $32,5 \text{ N/mm}^2$ og er lavere enn gjennomsnittet i denne studien. Gjennomsnittlig MOE ble målt til $13,6 \text{ kN/mm}^2$.

Hillestad (2024) skrev masteroppgave på data til pilotprosjektet til denne studien. Datamaterialet i pilotprosjektet bestod av gran fra totalt 4 forsøksfelt fordelt i fylkene Nordland, Troms og Finnmark. Med 4 bestand og 3 trær fra hvert felt, totalt 12 trær, er ikke datamaterialet representativt for Nord-Norge. Metoden har mange likheter som denne studien, men det er færre bestand, færre trær fra hvert bestand, og materialet er hentet fra forsøksfelt. Hillestad (2024) skrev masteroppgave der det ble beregnet densitet 430 kg/m^3 ved 12% fuktighet, noe høyere enn denne studien. Gjennomsnittlig MOR målte Hillestad (2024) til $43,3 \text{ N/mm}^2$, lik

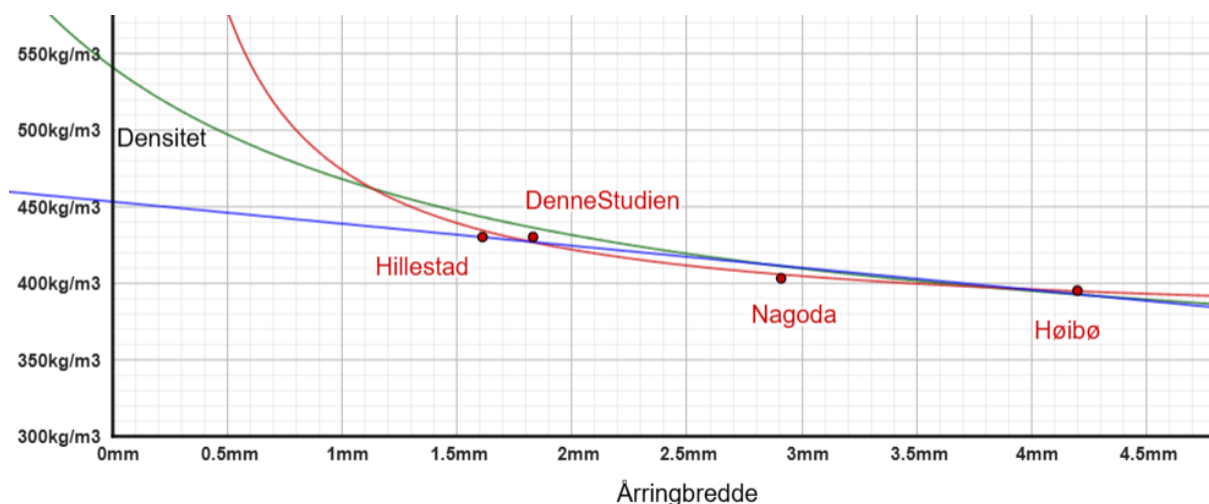
gjennomsnittsverdi som denne studien. MOE ble imidlertid målt til 12 kN/mm² hvilket er høyere enn i denne studien.

4.3 Påvirkende variabler på densitet, MOR og MOE

Som sammenligninger i delkapittel 4.2 viser, er det variasjon i egenskapene densitet, MOE og MOR innad i Norge, og klima kan være en del av årsaken til variasjonen.

Basert på studier omtalt i delkapittel 4.2 varierer densiteten på gran, men også årringbredden. Hillestad (2024) viser i sin master negativ korrelasjon mellom årringbredde og densitet, se figur 22. Høibø (1991) hadde størst årringbredde (4,2 mm) og, viser i sin studie negativ korrelasjon mellom densitet og årringbredde som en hyperbelfunksjon (figur 22), hvor denne studien fant en omvendt proporsjonal funksjon (formel 29). Datamaterialet til Nagoda (1985a) hadde i snitt 2,91 mm årringbredde, og samtlige modeller vist i figur 22 overpredikerer for datamaterialet til Nagoda (1985a). Hillestad (2024) hadde lavest årringbredde (1,61 mm) av de fire studier vist i figur 22, men modellen til Høibø (1991) og formel 29 fra denne studien overpredikerer densiteten til Hillestad (2024) basert på årringbredde.

Av de fire studiene Hillestad (2024), Nagoda (1985a), Høibø (1991), og denne studien er det kun Høibø (1991) sitt datamateriale som kommer fra Østlandet, hvor resterende studier kommer fra Nord-Norge. Høibø (1991) sin modell vist i figur 22 er også den som overpredikerer mest for Hillestad (2024), Nagoda (1985a) og denne studien. Wilhelmsson (2001) fant negativ korrelasjon mellom temperatursum og densitet gitt samme årringbredde og temperatursum blir lavere med økende breddegrad. Ettersom Høibøs (1991) modell er laget med data fra Østlandet, er det derfor forventet at den vil overpredikere for de andre studier vist i figur 22.

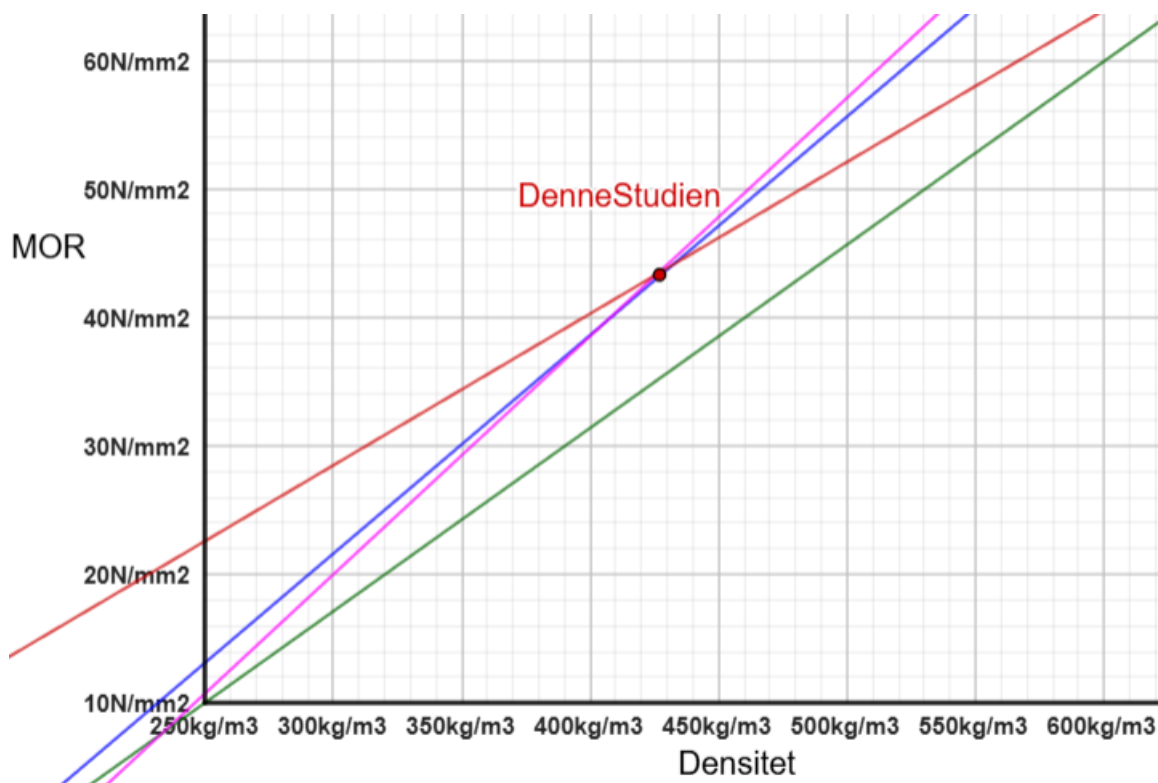


Figur 22: Sammenhengen mellom densitet og årringbredde. Høibø (1991) med grønn kurve, Hillestad (2024) med blå kurve, og formel 29 fra denne studien med rød kurve. Punktene i figuren viser gjennomsnittlig densitet og årringbredde fra hver studie.

Både Nagoda (1985a) og Høibø (1991) hadde større årringbredde enn denne studien, og gitt negativ korrelasjon mellom densitet og årringbredde er det forventet at Nagoda (1985a) og Høibø (1991) har lavere densitet enn denne studien. Densiteten til Hillestad (2024) skiller seg ikke stort fra denne studien, men er noe høyere. Skilnaden kan blant annet skyldes at Hillestad (2024) har lavere årringbredde. Beregning med formel 29 gir densitet 434 kg/m^3 for Hillestads (2024) datamateriale.

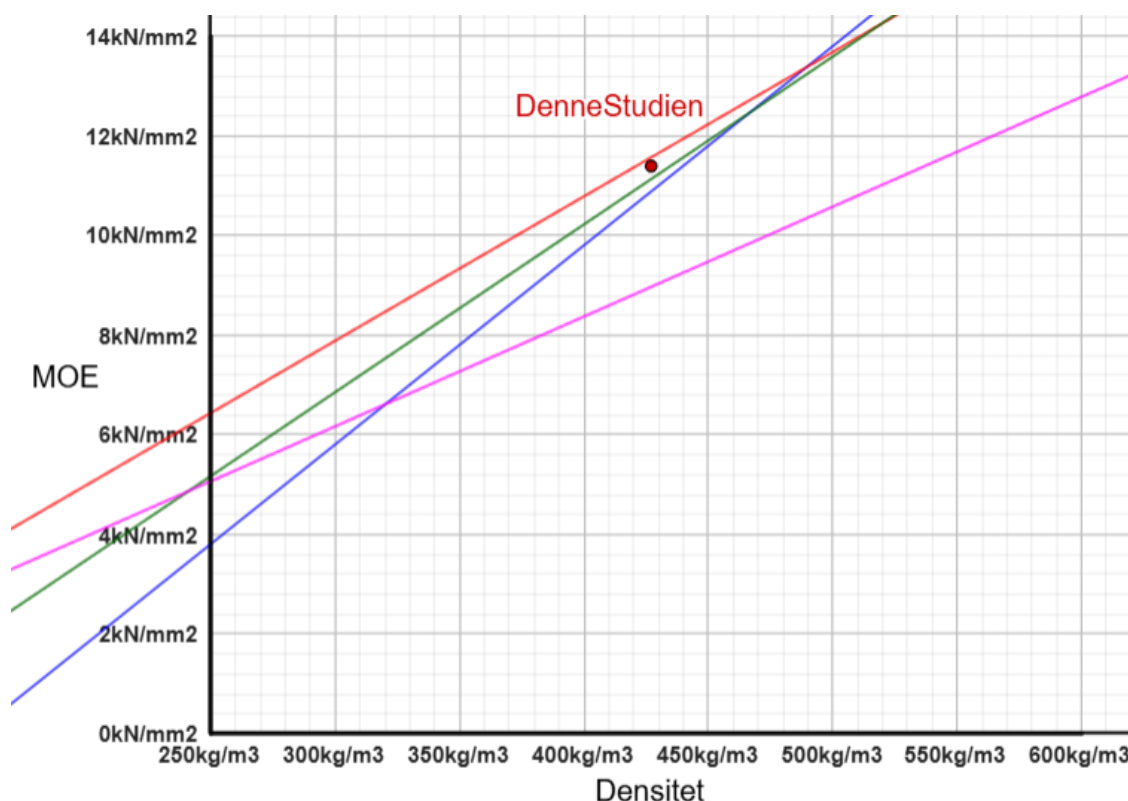
Skogskjøtsel for datamaterialet til denne studien er ikke kjent, hvilket ideelt sett skulle vært kjent da skogskjøtsel har innvirkning på tømmerkvaliteten (Høibø, 1991). Skjøtsel i materialet til Nagoda (1985a) er heller ikke kjent, men datamaterialet er hentet fra forsøksfelter med produksjonsskog, hvilket taler for at det er gjennomført skjøtselstiltak. Datamaterialet til Hillestad (2024) var utelukkende fra forsøksflater, hvor alle flatene hadde hatt tynning, og tynning reduserer densiteten (Jaakkola et al., 2006). Høibø (1991) hadde datamateriale fra et prøvefelt, men det hadde ikke vært foretatt noen aktive inngrep i omløpstiden.

Basert på studier omtalt i delkapittel 4.2 varierer MOR for gran, og tabell 11 viser at MOR også varierer mellom bestand og innad i bestand. Nagoda (1985a) gjorde enkel lineær regresjon og fant positiv korrelasjon mellom MOR og densitet. Hillestad (2024), Høibø (1991) og formel 23 i denne studien viser også positiv korrelasjon mellom MOR og densitet, se figur 23. Høibøs (1991) lineære regresjon skiller seg fra de andre regresjonene i figur 23 ved å estimere lavest MOR gitt samme densitet.



Figur 23: Sammenhengen mellom MOR og densitet. Nagoda (1985a) med rosa kurve, Hillestad (2024) med blå kurve, Høibø (1991) med grønn kurve, og formel 23 fra denne studien med rød kurve. Punktet vist i figuren er gjennomsnittlig MOR og densitet fra denne studien.

Basert på studier omtalt i delkapittel 4.2 varierer MOE for gran, og tabell 11 viser at MOE også varierer mellom bestand og innad i bestand. Stigningen i Nagoda (1985a) sin korrelasjon mellom MOE og densitet vist i figur 24 viser at materialet til Nagoda har en lavere økning i MOE som følge av densitet, sammenlignet med Høibø (1991), Hillestad (2024) og formel 28.



Figur 24: Sammenhengen mellom MOE og densitet. Hillestad (2024) med blå kurve, Høibø (1991) med grønn kurve, Nagoda (1985a) med rosa kurve, og formel 28 fra denne studien med rød kurve. Punktet vist i figuren er gjennomsnittlig MOE og densitet fra denne studien.

4.4 Modeller

Modeller utviklet i denne studien var til hensikt å forklare variasjon før styrkesortering, og slik åpne for sortering til høyere fasthetsklasser. Modellene ble utviklet til å forklare variasjon for egenskaper det er krav til dokumentasjon for i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a), og skulle være anvendbare for sagbruk og skogsarbeidere.

Av modellene var det modell 1 som forklarte lavest andel av den tilfeldige variasjonen (tabell 12). Ettersom den kun bruker relativ kronelengde og relativ høyde i treet er den anvendbar for entreprenører. Med sammenheng mellom DBH og høyde (Krisans et al., 2020) kan relativ høyde i treet estimeres, og relativ kronelengde kan estimeres visuelt som en prosent av treet totale høyde.

Av modeller vist i tabell 12 er modell 5 den eneste som estimerer densitet, og har R^2 på 53,63% med bruk av de faste egenskapene relativ høyde i treet, årringbredde og DBH. I likhet med modell 1 vil det være mulig å estimere relativ høyde i treet basert på korrelasjon mellom høyde og DBH (Krisans et al., 2020). Årringbredde kan måles på sagbruk ved bruk av foto, og denne modellen vil derfor være best egnet til forhåndssortering på sagbruk. Bedre sporing av tømmer vil gjøre det mulig å vite DBH for tømmer når det er på sagbruket.

4.5 Styrkesortering og karakteristiske verdier

Vurdering av karakteristiske verdier for sorteringsklasser inndelt etter NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009), beregnet i henhold til NS-EN 14358 (Standard Norge, 2016b) med krav gitt i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) er et av de mer sentrale mål for denne studien.

Etter styrkesortering av konstruksjonsvirke i henhold til NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) tilfredsstiller alle sorteringsklassene, med unntak av T3, krav til MOE for sine respektive fasthetsklasser i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a). Klasse T3 tilfredsstiller ikke krav for fasthetsklasse C30 ettersom klasse T3 har $11,8 \text{ kN/mm}^2$, og kravet er 12 kN/mm^2 . For krav til densitet er situasjonen lik som for MOE, der klasse T3 ikke innfrir krav til fasthetsklasse C30. Resterende sorteringsklasser innfrir krav til tilordnet fasthetsklasse for densitet. Alle sorteringsklasser innfrir krav til MOR for tilordnet fasthetsklasse.

Årsaken til at klasse T3 ikke innfrir krav til densitet kan skyldes flere faktorer. Antallet planker klassifisert til T3 ($n=80$) kan være av betydning, da det var den klassen med færrest planker. Beregning av nedre 5% persentil for T3 i henhold til formel 15 vil da belage seg på de svakeste 4 plankene. Klasse T2 ($n=207$) har til sammenligning 10 planker for nedre 5% persentil med samme formel. Regionen materialet er hentet fra kan og ha innvirket på virkeskvaliteten. Densitet er positivt korrelert med MOE, og densitet er positivt korrelert med MOR. Ettersom temperatursum er negativt korrelert med densitet, vil også temperatursum virke negativt på MOE og MOR.

Sorteringsklasser etter NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) baserer seg på blant annet kvist, da kvist er negativt korrelert med MOR og MOE. Med tanke på forutsigbarhet er det viktig at kvist har den samme reduserende innvirkning for alt materiale standarden dekker, gitt lik dimensjon på planke og lik dimensjon på kvist. NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) tar ikke hensyn til at temperatursummen er negativt korrelert med densitet, og de visuelle kriteriene for en sorteringsklasse er likt for det geografiske området standarden dekker. Selv om det er usikkerhet til at denne studien, Nagoda (1985a) og Hillestad (2024) er representative for Nordland, er det tre uavhengige studier som alle har vist lavere densitet ved gitt årringbredde, sammenlignet med studier på gran fra Sør-Norge. Forskjeller i modeller for densitet nord og sør i Norge ved en gitt årringbredde vist i figur 22, viser at det er en variasjon i densitet, hvilket svekker NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) som standard for sortering av konstruksjonsvirke av gran.

Med inndeling av sorteringsklasser nord og sør for Saltfjellet vises skilnader i testverdiene, vist i tabell 17. For klassene T1 og «T2 og bedre» ble alle krav tilknyttet karakteristiske verdier oppnådd i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a). MOR for klasse T2 sør for Saltfjellet er betydelig lavere enn T2 på nordsiden, og sørsiden oppnår ikke krav for MOR. T3 nord for Saltfjellet tilfredsstiller ikke krav hverken MOE eller densitet. Datamaterialet fra sørsiden av Saltfjellet er mindre enn datamaterialet fra nordsiden. Hattfjelldal har lavest gjennomsnittlig MOR av de to bestand sør for Saltfjellet (tabell 9), og med et beregningsgrunnlag på 86 planker for T2 sør for Saltfjellet utgjør Hattfjelldal 56% av plankene (tabell 16). Hattfjelldal er også det bestandet med størst standardavvik (tabell 10), og det kan derfor ha vært svake planker fra Hattfjelldal som har senket karakteristisk verdi for MOR under kravet gitt i NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a). Dette viser at lavt antall bestand gir hvert bestand stor påvirkning på de karakteristiske verdier, som igjen gjør det vanskelig å konkludere om gran fra Nordland innfrir krav til fasthetsklasse i henhold til NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) med bruk av visuell sortering i henhold til NS-INSTA 142. For å forsikre at NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) fortsatt skal tilfredsstille krav fra NS-EN 338 (Standard Norge, 2016a) kan en endring være å redusere området NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) kan brukes, slik at Nord-Norge ikke kan måles etter NS-INSTA 142. Det betyr ikke at kvaliteten på konstruksjonsvirke er direkte dårlig, men at det bør brukes alternative sorteringsmetoder som kan forklare mer av variasjonen enn det NS-INSTA 142 (Standard Norge, 2009) gjør.

5. Konklusjon

Hverken denne studien eller Nagoda (1985a) er konkludert å være representative for Nord-Norge, men sammenligning av studiene har vist at det er forskjeller i både virkekvallitet og alder. Nagoda (1985a) hadde gjennomsnittlig alder på 68 år, hvor denne studien hadde 84 år. Gjennomsnittsverdier for densitet, MOR og MOE var alle lavere for Nagoda (1985a) enn denne studien, og tilfredsstiller derfor hypotesen om at verdier for MOR, MOE og densitet i Nord-Norge har økt med økende alder. Grunnet at metoden til Nagoda (1985a) ikke er kjent, og datamaterialet til Nagoda og i denne studien ikke er representativt for hele Nord-Norge kan det ikke konkluderes korrelasjon mellom alder og henholdsvis densitet, MOR og MOE i Nord-Norge.

Studien har vist at materialet i denne studien sortert til klasse T1 oppfyller krav for C18, klasse T2 og klasse «T2 og bedre» oppfyller kravene for C24, mens klasse T3 ikke oppfyller krav til MOE og densitet for C30. Sammenligning med gran fra andre deler av Norge viser at virkesegenskapene for materialet i denne studien noe lavere (Fischer, 2016; Høibø, 1991). I sammenligning med modell for korrelasjon mellom densitet og årringbredde, overpredikerer modellen med gran fra Østlandet densitet for tre studier på gran fra Nord-Norge, henholdsvis Nagoda (1985a), Hillestad (2024) og denne studien (figur 22).

Modeller for MOR, MOE og densitet utviklet med faste effekter i denne studien har vist at faste effekter kan forklare noe av variasjonen i MOR, MOE og densitet, men fant ikke signifikant effekt av faste effekter på bestandets beliggenhet. For at modellene skal brukes må sporingen av tømmer fra skog til sagbruk utbedres.

6. Referanseliste

- Bergerud, I. (2021). *Modellering av densitet og mekaniske egenskaper til trelast av furu (Pinus sylvestris) fra Troms og Finnmark, med fokus på skogskjøtselstiltak*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2774611/Ingvild%20Bergerud%2c%20Masteroppgave%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (lest 24.04.2025).
- Birkeland, T., Houen, P. J., Haartveit, E. Y., Kilde, V., Lind, P., Sandland, K. M., Vadla, K. & Øvrum, A. (2002). *Norsk trevirke som råstoff*, 52. Oslo: Norsk treteknisk institutt.
- Bosch. (2020). Bosch GLM 30 Professional.
- Bramming, J. (2006). *Fysiske og mekaniske egenskaper hos norsk gran og furu*, nr.65. Oslo: Treteknisk.
- Byggeteknisk forskrift, m. v. (2017). *Veiledning om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/20503ddfe0664fac9e2185c1a6c80716/veiledning-til-byggeteknisk-forskrift-tek17_01_07_2017_oppdateret_15_09_2017.pdf (lest 24.02.2025).
- Dalen, L. S. (2023). *Gran i nord- kan man lage trelast av nordnorsk tømmer?* Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/nyheter/gran-i-nord--kan-man-lage-trelast-av-nordnorsk-tommer> (lest 22.01.2025).
- Eikenes, B. (1991). *Egenskaper hos gran (Picea abies (L.) Karst.) fra Vestlandet målt på trelast i hele dimensjoner. [Wood quality from uneven-aged forests]*. ÅS-NLH: Institutt for skogfag.
- Fischer, C. (2016). *Density and bending properties of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) structural timber – Inherent variability, site effects in machine strength grading and possibilities for presorting*. Doktoravhandling. Ås: Norwegian University of Life Sciences. Tilgjengelig fra: https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2688667/2016-43_Carolin%20Fischer_%28INA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y (lest 20.03.2025).
- Forskningsrådet. (u.å.). *Trelast med høyere styrke og stivhet -Tresterk*. Tilgjengelig fra: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/208085> (lest 17.03.2025).
- Foslie, M. & Moen, K. (1968). *Norsk granvirkes styrkeegenskaper*. Meddelese nr.33. Oslo: NTI.
- Haglöf, S. A. (2007). Users Guide Vertex IV and Transponder T3.
- Heidenhain. (u.å.). *METRO series: Heidenhain*. Tilgjengelig fra: <https://www.heidenhain.com/products/length-gauges/metro> (lest 18.02.2025).
- Hillestad, M. (2024). *Evaluering av konstruksjonsvirke av gran (Picea abies(L.) Karst) fra Nord-Norge*. Masteroppgave: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/3148344/no.nmbu%3awiseflow%3a7110070%3a59109759.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (lest 24.03.2025).
- Høibø, O., Vestøl, G. I., Fischer, C., Fjeld, L. & Øvrum, A. (2013). *Bending properties and strength grading of Norway spruce: variation within and between stands*. Canadian Journal of Forest Research. Tilgjengelig fra: <https://cdnscepub.com/doi/full/10.1139/cjfr-2013-0187> (lest 11.03.2025).
- Høibø, O. A. (1991). *The quality of wood of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst) planted with different spacing*.: Agricultural University of Norway.

- Jaakkola, T., Mäkinen, H. & Saranpää, P. (2006). *Wood density of Norway spruce: Responses to timing and intensity of first commercial thinning and fertilisation*. Vantaa Finland: Finnish Forest Research Institute, Vantaa Research Unit. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112706009960>.
- Kollmann, F. & Côté, W. (1968). *Principles of Wood Science and Technology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Krisans, O., Samariks, V., Matisons, R. & Jansons, A. (2020). *Model of above-ground biomass distribution of Norway spruce (Picea abies L. (Karst.))*. Latvia: Latvia State Forest Research Institute "Silava". Tilgjengelig fra: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/model-of-above-ground-biomass-distribution-of-norway-spruce-picea-abies-l-karst/?utm_source=chatgpt.com.
- Kucera, B. (1992). *A HYPOTHESIS RELATING CURRENT ANNUAL HEIGHT INCREMENT TO JUVENILE WOOD FORMATION IN NORWAY SPRUCE*. Tilgjengelig fra: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1353/1353> (lest 11.03.2025).
- Landbruksforlaget. (1987). *Handbok for planlegging i skogbruket*. OSLO: Norges Landbrukshøgskole.
- Leandro, I. B. (1998). *Modulus of Elasticity of Norway Spruce using Different Techniques*. Masteroppgave. Lund: Lund Institute of Technology. Tilgjengelig fra: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=3172190&fileId=4463398> (lest 26.04.2025).
- Mäkinen, H. & Colin, F. (1998). *Predicting branch angle and branch diameter of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information*: Canadian Journal of Forest Research. Tilgjengelig fra: <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.1139/x98-141> (lest 02.04.2025).
- Mettler, T. (2001). *Operating instructions METTLER TOLEDO PG-S balances (0.001 g, 0.01 g)*. Greifensee, Switzerland. Tilgjengelig fra: https://www.mt.com/ca/en/home/library/operating-instructions/laboratory-weighing/PG-S_mg.html (lest 17.01.2025).
- Morén, A. S. & Perttu, K. L. (1994). *Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land*. Studia Forestalia Suecica No. 194. Tilgjengelig fra: <https://pub.epsilon.slu.se/3910/1/SFS194.pdf> (lest 14.03.2025).
- Nagoda, L. (1985a). *Styrkesegenskaper hos gran (Picea Abies (L.) Karst.) Fra Nord-Norge målt på trelast i hele dimensjoner*. Ås-NLH: Institutt for treteknologi.
- Nagoda, L. (1985b). *Virkeskvalitet og skogbehandling*. Ås-NLH: Norges landbrukshøgskole, Institutt for treteknologi.
- Nygaard, G. (2003). *Virkeskvalitet på skogreisingsgran i Nordland*. Sluttrapport 2003: Fylkesmannen i Nordland.
- Orman, O., Adamus, M. & Foremnik, K. (2023). *Norway spruce sapling plasticity in their responses of architecture and growth to light gradient decreases with altitude in subalpine stands*. Tilgjengelig fra: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112723001317?utm_source=chatgpt.com (lest 01.05.2025).
- PEFC. (2022). *Norsk PEFC Skogsstandard*. Tilgjengelig fra: <https://cdn.pefc.org/pefc.no/media/2023-04/191010dd-81a3-41ec-9aeb-76a67effda24/b877f9c0-47fa-5a50-b9ab-b82536994907.pdf> (lest 23.01.2025).

- QGIS Development team. (2023). QGIS (Versjon 3.30.3-'s-Hertogenbosch). Tilgjengelig fra: <https://qgis.org/> (lest 27.03.2025).
- 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(4): 673. Tilgjengelig fra: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532618/vertical.pdf?sequence=1> (lest 25.03.2025).
- St. meld. nr. 44. (1954). *Om innstilling I fra Skogkommisjonen av 1951 om skogreising Vestafjells.*: Landbruksdepartementet.
- Standard Norge. (2002). *NS-EN 13183-1:2002 Moisture content of a piece of sawn timber - Part 1: Determination by oven dry method*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-13183-1-2002> (lest 28.03.2025).
- Standard Norge. (2009). *NS-INSTA 142: 2009 Nordic visual strength grading rules for timber*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-insta-142-2009> (lest 24.01.2025).
- Standard Norge. (2012a). *EN 408:2010+A1 Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-408-2010a1-2012> (lest 24.01.2025).
- Standard Norge. (2012b). *NS-EN 1912:2012 Konstruksjonstrevirke Fasthetsklasser Tilordning av visuelle sorteringsklasser og treslag*. Tilgjengelig fra: <https://forhandsvis.standard.no/product/2536070/nb> (lest 14.03.2025).
- Standard Norge. (2016a). *NS-EN 338:2016 Konstruksjonstrevirke Fasthetsklasser*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-338-2016> (lest 17.04.2024).
- 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 24.02.2025).
- Standard Norge. (2022a). *NS-EN 384: 2016+ A2 Konstruksjonstrevirke Bestemmelse av karakteristiske verdier for mekaniske egenskaper og densitet*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-384-2016a2-2022> (lest 23.01.2025).
- Standard Norge. (2022b). *NS-EN 14081-3:2022 Timber structures - strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 3: Machine grading; additional requirements for factory production control*. Tilgjengelig fra: <https://online.standard.no/nb/ns-en-14081-3-2022> (lest 06.05.2025).
- Standard Norge. (2023). *NS-EN 1995: Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner*. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/fagomrader/eurokoder/eurokode-5/> (lest 01.04.2025).
- Standard Norge. (u.å.). *Norsk Standard*: Standard Norge. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/standardisering/leveranser/norsk-standard/> (lest 16.01.2025).
- Statistisk sentralbyrå. (2025a). *Avvirkning av industrivirke for salg fordelt på treslag. Fylke. 1 000 m³*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogavvirkning-for-salg> (lest 03.04.2025).
- Statistisk sentralbyrå. (2025b). *Skogavvirkning for salg*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/skogbruk/statistikk/skogavvirkning-for-salg> (lest 20.03.2025).
- Statsforvalteren i Nordland. (2022). *Gran i nord*. Tilgjengelig fra: <https://www.statsforvalteren.no/nordland/landbruk-og-reindrift/skogbruk/gran-i-nord/> (lest 23.03.2025).

- Stemstrud, F. (1965). *TREVIRKETS FYSISKE EGENSKAPER*. Norges landbrukshøgskole: Institutt for treteknologi.
- Treteknisk. (2009). *Treteknisk håndbok*, b. 3 utgave 2000 (2009). Oslo.
- Tronstad, S. (2000). *Trefuktighet- tørking*. Fokus på tre NR.38: Norsk Treteknisk Institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/38-Trefuktighet-torking.pdf> (lest 23.01.2025).
- Tveite, B. (1977). Site index curves for Norway spruce. 33: 1-84.
- Vestøl, G. I. & Høibø, O. (2001). *Prediction of knot diameter in Picea abies (L.) Karst.* Holz als Roh- und Werkstoff 59, 129–136 (2001). Tilgjengelig fra: <https://doi.org/10.1007/s001070050484>.
- 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. Tilgjengelig fra: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480272.2012.662698#abstract> (lest 21.03.2025).
- 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. Tilgjengelig fra: <https://www.tandfonline.com/doi/full/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.* Tilgjengelig fra: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/02827581.2020.1799067?needAccess=true> (lest 07.05.2025).
- Wilhelmsson, L. (2001). *Characterisation of Wood Properties for Improved Utilisation of Norway Spruce and Scots Pine*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Zwick Roell. (u.å.-a). *Product Information Materials testing machine Z1200E with testControll II.* Tilgjengelig fra: https://www.zwickroell.com/fileadmin/content/Files/SharePoint/user_upload/PI_EN/06_970_Z1200E_PI_EN.pdf.
- Zwick Roell. (u.å.-b). *Product Information testXpert III testing software.* Tilgjengelig fra: https://www.zwickroell.com/fileadmin/content/Files/SharePoint/user_upload/PI_EN/05_590_testXpert_III_PI_EN.pdf (lest 25.02.2025).
- Øvrum, A. (2012). *Konstruksjonsvirke*. FOKUS på tre NR.43: TreFokus/Treteknisk. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/43-Konstruksjonsvirke.pdf> (lest 21.03.2025).
- Øyen, B. H. & Nygaard, P. H. (2020). *Naturlig utbredelse av gran i Norge*. Vol. 6, NR. 111: NIBIO.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway