

Ørjan Haugen  
Vetle Løchting

## Røntgensortering av tømmer

*Hvilken faktor gir det høyeste utbytte av høykvalitetstømmer ved forsoring med røntgenramme, og hvor stor andel T26 gir denne?*

Bacheloroppgave i ingeniørfag - bygg

Veileder: Jan Steinar Egenes

Mai 2021



Ørjan Haugen  
Vetle Løchting

## **Røntgensortering av tømmer**

*Hvilken faktor gir det høyeste utbytte av  
høykvalitetstømmer ved forsoring med  
røntgenramme, og hvor stor andel T26 gir denne?*

Bacheloroppgave i ingeniørfag - bygg  
Veileder: Jan Steinar Egenes  
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden





## Røntgensortering av tømmer

*Hvilken faktor gir det høyeste utbytte av høykvalitetstømmer ved forsoring med røntgenramme, og hvor stor andel T26 gir denne?*

Ørjan Haugen og Vetle Løchting  
Gruppe 22

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg  
Innlevert: mai 2021  
Veileder: Jan Steinar Egenes

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggingteknikk

<b>Oppgavens tittel:</b>  Røntgensortering av tømmer	<b>Dato:</b> 20.mai 2021		
	<b>Antall sider:</b> 88		
	<b>Antall sider vedlegg:</b> 38		
	<b>Masteroppgave:</b>	<b>Bacheloroppgave</b>	<b>x</b>
<b>Navn:</b> Ørjan Haugen og Vetle Løchting			
<b>Veileder:</b> Jan Steinar Egenes			
<b>Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere:</b> Hans Marius Skjærstad, veileder fra Moelven Våler AS			
<b>Sammendrag:</b> <p>Rapportens hensikt er å utforme en metode hvor Moelven Våler AS bedre kan utnytte sin røntgenramme til å forsortere tømmer. Det er ønskelig å sortere ut styrkeklassen T26 i gran, noe som vil være den høyeste styrkeklassen de har levert hittil. Denne oppgaven undersøker derfor hvilke faktorer som gir den høyeste andelen av T26-tømmer, og hvilke krav man skal sette på røntgenmaskina. Oppgavens problemstilling lyder som følger:</p> <p><i>«Hvilken faktor gir høyest utbytte av høykvalitetstømmer ved forsoring med røntgenramme, og hvor stor andel T26 gir den?»</i></p> <p>Det er hovedsakelig benyttet to kvantitative metoder for å løse denne oppgaven: «stor batch»-analyse og parameteranalyse. I tillegg finnes det innslag av en kvalitativ metode ved utveksling av idéer og erfaringer, gjennom møter og e-postutvekslinger i fagmiljøet. Dette har ført til undersøkelse av følgende tre parametere:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gjennomsnittlig densitet i kjerneved</li> <li>- Gjennomsnittlig kvistavstand</li> <li>- Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler</li> </ul> <p>Resultatene i denne oppgaven viser at det er mulig å indikere forekomsten av T26 allerede i røntgensorteringen. De tre parameterne som blir undersøkt i denne oppgaven gir en reell volumandel T26 på mellom 18-33 %. Dette er noe av det første som blir gjort av forskning på dette temaet i Norge, og denne studien gir en svært god indikasjon på at røntgensortering av tømmer har en lysende fremtid. Basert på bruken av parameterne som blir undersøkt i denne oppgaven, ble gjennomsnittlig kvistvolum i kvistkrans den faktoren som ga høyest andel T26. I tillegg ble det oppdaget et stort potensial for tømmeret klassifisert som T26, da bøyestyrken på teststykkene oversteg bøyekravet for T26 betydelig.</p>			

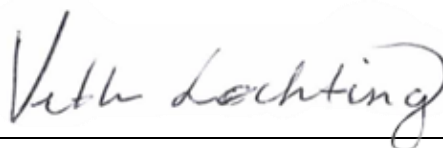
**Stikkord:**

<b>Norsk</b>
Røntgen, T26, limtre, tømmer, sortering, densitet, kjerneved, kvistavstand, kvistvolum, forsortering
<b>English</b>
X-ray, T26, glulam, timber, machine sorting, pre-sorting, density, heartwood, knot spread, whorl volume



---

Ørjan Haugen



---

Vetle Løchting

# Forord

Denne rapporten er en avsluttende bacheloroppgave ved studiet ingeniørfag – bygg, institutt for vareproduksjon og byggteknikk ved NTNU i Gjøvik våren 2021.

Oppgaven ble valgt da begge forfatterne syntes det hørtes både interessant og innovativt ut med en oppgave om røntgenramme til forsortering av tømmer. Dette var et nytt fagområde for begge to, og det virket spennende. Fagområdet var ikke bare nytt for oss, men i stor grad et område hvor det finnes lite litteratur og få studier om, i Norge. Dette gjorde oppgaven enda mer interessant, siden det er svært få personer som har noe kunnskap om bruk av røntgenramme til dette formålet i Norge. Vi har ikke angret ett sekund på at vi valgte å skrive om dette temaet.

Vi vil takke alle som har bidratt og støttet oss gjennom arbeidet med rapporten. Vi ønsker å takke vår veileder Jan Steinar Egenes, universitetslektor ved institutt for vareproduksjon og byggteknikk, for gode råd og all hjelp med gjennomføringen av rapporten. Vi ønsker også å takke våre kontaktpersoner i Moelven Våler, henholdsvis Knut Berg, Hans Marius Skjærstad og Lars Grøtta for all hjelp og svært godt samarbeid gjennom prosessen. Vi takker også for at vi fikk lov å skrive denne oppgaven med dere. Vi ønsker også å takke Moelven Limtre, ved Rune Abrahamsen for gode innspill underveis. Videre må vi også takke Audun Øvrum, administrerende direktør i Norsk Treteknisk Institutt for god hjelp og svært nyttig kunnskap. Vi må også takke familie og venner som har vært til hjelp ved denne bacheloroppgaven.

Til slutt ønsker vi å takke hverandre for et fint og innholdsrikt samarbeid gjennom dette arbeidet. Dette til tross for en utfordrende tid, med mange timer hver for oss, og uten alt for mange fysiske møter.

Gjøvik, mai 2021

X



Ørjan Haugen

X



Vetle Løchting

# Abstract

The objective of this study is to design a method for Moelven Våler AS to be able to make full use of their X-ray log scanner. It is desirable to pre-sort strength class T26 for spruce, which will be the highest class that has been sorted at Moelven Våler AS. Therefore, this study examines which parameters in Norway Spruce that leaves the highest yield of T26 quality, and additionally which limits to set for the log scanner. The thesis question is: “Which factor leaves the highest outcome of high-quality pre-sorted timber when using the X-ray log scanner, and which share of T26 is given by this?”.

Two quantitative methods are mainly used to solve the thesis question: big batch analysis and parameter analysis. Additionally, there is qualitative research through exchange of ideas and experience through meetings and email in the special environment. This work has led to the study of the following three parameters:

- Average density of heartwood:
- Average distance between knots
- Average volume of knots in knot whorls

This study reveals that it is possible to indicate the presence of T26 already at the timber yard, using X-ray. All three parameters which have been examined gives a volume share of T26 between 18-33 %. Because this is some of the first research which has been done in this field, this study strongly indicates that X-ray scanning has a bright future in the timber industry. Based on the analysis of the three parameters, knot whorl volume gave the largest yield of T26 and seems to be the safest choice when comparing between the three. In addition, a large potential in Norway Spruce was discovered, as the bending strength of the test pieces significantly exceeded the requirements from the European standards.

# Kontaktpersoner

Oversikt over personer som forfatterne har hatt kontakt med gjennom oppgaven.

Audun Øvrum	Administrerende direktør i Norsk Treteknisk Institutt.
Hans Marius Skjærstad	Produktsjef i Moelven Våler AS.
Jan Steinar Egenes	Universitetslektor på institutt for vareproduksjon og byggteknikk, samt vår interne veileder på NTNU i Gjøvik
Knut Berg	Daglig leder i Moelven Våler AS.
Lars Grøtta	Salgsansvarlig Norge og Markedsdirektør Moelven Våler AS og Moelven Løten AS
Rune Abrahamsen	Administrerende direktør i Moelven Limtre AS
Tor Kristoffer Klethagen	Avdelingsingeniør ved institutt for vareproduksjon og byggteknikk

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	iv
Abstract .....	v
Kontaktpersoner .....	vi
Innholdsfortegnelse .....	vii
Figurliste.....	x
Tabelliste .....	xii
Formelliste.....	xiii
1 Innledning.....	1
1.1 Moelven-konsernet .....	2
1.1.1 Moelven Våler AS.....	2
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Formål med oppgave .....	4
1.4 Oppgavens oppbygging og avgrensing.....	4
1.4.1 IMRoD .....	4
1.4.2 Avgrensinger .....	6
1.4.3 Referansestil .....	6
1.5 Etikk, miljø og innovasjon.....	7
1.5.1 FNs bærekraftsmål .....	8
1.6 Symboler og definisjoner.....	10
2 Teori .....	13
2.1 Innhold.....	13
2.2 Grunnleggende om trevirkets egenskaper .....	14
2.3 Nordisk gran .....	15
2.4 Inndeling av styrkeklasser .....	16
2.4.1 Gran klasse 10 .....	20

2.4.2	Limtre .....	21
2.5	Avgjørende faktorer for styrke og fasthet.....	22
2.5.1	Utdypning av faktorer .....	23
2.6	Styrkesortering.....	30
2.6.1	Maskinell styrkesortering .....	31
2.6.2	Visuell tilleggssortering .....	32
2.7	Microtec – røntgensortering .....	33
3	Case og materialer.....	37
4	Metode.....	38
4.1	Valg av tema og problemstilling .....	38
4.2	Litteraturstudie.....	39
4.3	Datainnsamling.....	40
4.3.1	Metodetype.....	40
4.3.2	Økonomi.....	41
4.3.3	Testing.....	41
4.4	Valg av variabler .....	42
4.4.1	Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler .....	44
4.4.2	Gjennomsnittlig kvistavstand.....	44
4.4.3	Gjennomsnittlig densitet i kjerneved.....	44
4.4.4	Sammendrag.....	47
4.5	Testprosedyre.....	49
4.6	Resultater, diskusjon og konklusjon.....	51
4.7	Samarbeid og fordeling av arbeidsoppgaver .....	53
4.8	Relabilitet og validitet .....	54
5	Resultater.....	55
5.1	Resultater fra maskinsortering.....	55
5.1.1	Gjennomsnittlig densitet i kjerneved.....	56



5.1.2	Gjennomsnittlig kvistavstand .....	56
5.1.3	Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler .....	56
5.2	Resultater fra 4-punkts bøyetesting .....	57
5.2.1	Gjennomsnittlig densitet i kjerneved.....	58
5.2.2	Gjennomsnittlig kvistavstand .....	58
5.2.3	Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler .....	59
5.2.4	Sammenlikning.....	59
6	Diskusjon og analyse.....	60
6.1	Analyse av resultater .....	60
6.2	Diskusjon.....	64
7	Konklusjon .....	70
7.1	Videre forskning.....	71
	Litteraturliste .....	72
	Vedlegg .....	75

# Figurliste

Figur 1: Sortering av tømmer hos Moelven Våler AS. Hentet fra Østlendingen (Håland, 2018)	3
Figur 2: Optimalisering av tømmerstokkens tverrsnitt. Bilde: Microtec.eu	8
Figur 3: FNs bærekraftsmål. Hentet fra FN-sambandet sine nettsider (til fri bruk).	9
Figur 4: Skjematisk fremstilling av tømmerets syklus hos Moelven Våler	13
Figur 5: Viser treets oppbygging. Hentet fra trefokus.no, rapport 40 side 3.	14
Figur 6: Viser eksempel på en vanlig gran, en frøkongle og en typisk kvist. Hentet fra snl.no	16
Figur 7: Utklipp av tabell 1 fra NS-EN 14080:2013, side 21.	18
Figur 8: Utklipp av tabell 2 fra Standard NS-EN 14080:2013, side 22.	19
Figur 9: Forsøk på en grafisk fremstilling av hvilken dimensjon som blir hentet ut av tømmerstokkene. Underlagsbilde: Skoleskogen.no	20
Figur 10: Skjematisk fremstilling av limtreproduksjon. Hentet fra bacheloroppgaven «Bærende trekonstruksjoner og sammenføyninger», side 16 (2013).	21
Figur 11: Sammenheng mellom bonitet og høyde over havet for E-modul og Bøyefasthet. Bilde: Geir Vestøl, presentasjon ved NMBU (31.05.2018), side 7.	23
Figur 12: Graf over strekkfasthet for furu avhengig av romdensitet. Hentet fra (Egenes, 2017).	25
Figur 13: Fiberforløp over en tørr kvist. Det blir lagt stort press på de overgående fibrene. Bilde: Treteknisk/Trefokus rapport nr. 43 side 4.	26
Figur 14: Fremstilling av ulike parametere på røntgenbilde. Jo mørkere farge, jo høyere densitet. Underlagsbilde: Microtec brukermanual	27
Figur 15: Densitet sett i forhold til bonitet, høyde over havet og breddegrad. Bilde: Geir Vestøl, presentasjon ved NMBU (31.05.2018), side 6.	28
Figur 16: Typisk tegn på tennar, med økt densitet på én side av planken (mørkt område). Bilde: Trefokus/Treteknisk, rapport 40 side 8.	29
Figur 17: Bilde fra illustrasjonsvideo av Precigrader. Bildet viser hammeren til venstre, og hjulet til høyre som blir brukt på Precigrader. Bilde: Dynalyse AB (Dynalyse AB, 2020).	31
Figur 18: Tabell 1 hentet fra side 10 i NS-EN 14081-1:2016+A1:2019 (Standard Norge, 2019). Aktuelle krav skravert i oransje	33

Figur 19: Fremstilling av hvordan røntgenbildene blir fremstilt. Bilde: Microtec bruksanvisning, side 22. _____	34
Figur 20: Eksempel på graf fra registrering av kvist. Bilde: Microtec bruksanvisning, side 37. _____	35
Figur 21: Eksempel på analyse av toppbrudd. Bilde: Microtec, side 39. _____	36
Figur 22: Skjematisk fremstilling av arbeidsprosess, fra start (topp), til slutt (bunn). _____	38
Figur 23: Skjematisk fremstilling av innhenting av data til resultatdelen av oppgaven. _____	42
Figur 24: Verdier for E-modul, bøyefasthet og densitet. Bilde: Treteknisk Institutt/Moelven Våler (privat dokument). _____	43
Figur 25: Oversikt over utbytte av C40 og C24 sett i sammenheng med hvor bestanden er hentet ut. Bilde: hentet fra presentasjon om Tresterk-prosjektet, «Trelast med høyere styrke og stivhet» (9.02.2016), side 9. _____	45
Figur 26: Fordeling av fuktinnhold i nyskåret trelast. Bilde: hentet fra Trefokus/Treteknisk, rapport nr. 40 side 7. _____	46
Figur 27: Fremstilling av verdiene for de 6537 stokkene i klasse G10. De svarte stolpene utgjør standardavviket _____	47
Figur 28: Bilder av prøvestokker, markert i ulike farger for å skille de fra resterende last på sagbruket. Bilder: Moelven Våler v/ Bjørn Grønås _____	48
Figur 29: Teststasjon på bygglaben på NTNU i Gjøvik, satt opp etter kravene i NS-EN 408. Med mål for en 50x150 mm planke – benyttet verdi i fet skrift. Bilde: privat _____	51
Figur 30: Knekkurve for teststykke 14 fra densitet-serien _____	52
Figur 31: Utvikling av problemstilling over tid. Fra eldst til nyest, fra toppen og ned. _____	53
Figur 32: Diagram over sorteringsfaktorer for T26-andelen av maskinsorteringen. _____	57
Figur 33: Sammenlikning mellom de 3 partiene, med standardavvik. _____	59
Figur 34: Aktuelle bærekraftsmål. Hentet fra FN-sambandet sine nettsider (til fritt bruk). _____	68

# Tabelliste

Tabell 1: <i>Oppgavens kapittelinnndeling</i> _____	4
Tabell 2: <i>Tabell som viser lamelltype, samt illustrasjon for de forskjellige lagene i GL32c</i> _	19
Tabell 3: <i>Tabell over simulerte verdier i Excel</i> _____	47
Tabell 4: <i>Tabell som viser utfall etter grovsortering</i> _____	55
Tabell 5: <i>Resultater fra Dynagrade-testing av tømmer sortert på gjennomsnittlig densitet i kjerneved</i> _____	56
Tabell 6: <i>Resultater fra Dynagrade-testing av tømmer sortert på gjennomsnittlig kvistavstand</i> _____	56
Tabell 7: <i>Resultater fra Dynagrade-testing av tømmer sortert på gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler</i> _____	56
Tabell 8: <i>Resultater fra bøyetesting av tømmer sortert på densitet</i> _____	58
Tabell 9: <i>Resultater fra bøyetesting av tømmer sortert på kvistavstand</i> _____	58
Tabell 10: <i>Resultater fra bøyetesting av tømmer sortert på kvistvolum i kvistvirvler</i> _____	59

# Formelliste

- Formel 1: Modell for utregning av tørr densitet i kjerneved. Hentet fra Brännströms masteroppgave «Establishing a Model for the Dry Density og Heartwood of Norway Spruce by Parameters Industrially Measurable on Green Logs», side 22, likning 6. \_\_\_\_\_ 45
- Formel 2: Modell fra NS 384 for utregning av tørr densitet (forenklet versjon), side 14 \_\_\_\_ 46



# 1 Innledning

Dette er en studie i bruk av røntgenramme for sortering av høykvalitets tømmer. Forfatterne av oppgaven startet planleggingen av bacheloroppgaven allerede våren 2020. Da plantet det seg en tanke hos begge forfatterne at det var ønskelig å avslutte skolegangen ved NTNU i Gjøvik med et samarbeid om bacheloroppgaven. Det ble raskt enighet om samarbeidet. Ambisjonene var høye, og ønsket om en spennende og nytenkende bacheloroppgave ble kartlagt.

Studien springer ut fra en samtale med daglig leder i Moelven Våler, Knut Berg, sommeren 2020. Det ble raskt klart at Moelven Våler var det riktige stedet å skrive bacheloroppgave. Moelven Våler har en røntgenmaskin til bruk av forsoring av tømmer, som de ikke får fullt utnyttet potensialet av. Forfatterne av oppgaven synes dette var et spennende og innovativt tema, og grunnet dette ble det besluttet å etablere et samarbeid med Moelven Våler om en bacheloroppgave. Moelven Våler var også svært positive til et samarbeid. Dersom studien får ønsket resultat, vil dette kunne medføre en økonomisk gevinst og en mer effektiv sortering av tømmer, i tillegg til at bedriften kan tilby kunden et enda bedre produkt.

Forfatterne ble også satt i kontakt med Moelven Limtre. De så også positivt på oppgaven, og de var villige til å bidra med den kunnskapen de hadde. Dersom studien får ønsket resultat ville det bety økonomisk gevinst og et bedre produkt for dem også. Høsten 2020 ble det klart at Jan Steinar Egenes ble intern veileder fra NTNU. Han har selv erfaring innenfor blant annet styrkesortering av tømmer. På grunnlag av kjenninger av både Jan Steinar og Moelven Våler AS ble Norsk Treteknisk Institutt (Treteknisk) også behjelpelige med studien. Dette gjorde at studien fikk mer tyngde.

Fra tidligere er det lite litteratur knyttet til temaet som denne studien omhandler. Treteknisk er imidlertid en av få institusjoner som har forsket på dette. De hadde et prosjekt, kalt «Tresterk» (Flæte, 2016). Tresterk-prosjektet konkluderte med at mye treverk går til lavere styrkeklasser enn nødvendig. Som en del av dette Tresterk-prosjektet ble det i tillegg skrevet en ph.d.-avhandling om tetthets- og bøyeegenskaper hos norsk gran. Denne ble skrevet av Carolin Fischer (Fischer, 2016). Det er også en ph.d. av Mattias Brännström ved Luleå University of Technology, som omhandler bruk av røntgenramme til styrkesortering av tømmer

(Brännström, 2009). Alle disse prosjektene blir nærmere beskrevet senere i denne studien. Underveis i prosessen ble det også oppdaget mangelfull teori i standardene som omhandler sorteringskrav for høye klasser, slik som T26.

Denne oppgaven omhandler altså bruk av røntgenramme til forsortering av tømmer. Ved hjelp av litteraturstudier, forsøk, testing og testanalysering blir det undersøkt hvordan denne teknologien best kan utnyttes. Dersom alt går som ønsket, vil denne studien være relevant i mange år fremover, og være med på å komplimentere litteratur knyttet til forsortering og høyere klasser av tømmer.

## **1.1 Moelven-konsernet**

I dag er Moelven betegnet som et internasjonalt tremekanisk konsern, men slik har det ikke alltid vært. Da Moelven ble startet opp i 1899 var de et bruk som produserte oljekokte kjerrehjul. Moelven selger alt av trevarer til hus, trelast til industri, limtre, byggmoduler, fleksible kontorløsninger, flis og bioenergi (Moelven, 2021a).

Moelven er organisert i tre divisjoner. Disse er Timber, Byggsystemer og Wood. Konsernet har valgt denne organisasjonsstrukturen for å sikre at beslutningene tas av ledere med kjennskap og innsikt i sitt marked. I tillegg har konsernet overordnede retningslinjer som må følges. Konsernet omfatter til sammen 34 produksjonsselskaper fordelt på 42 produksjonssteder i Norge og Sverige. I tillegg er det salgsapparat i Norge, Sverige, Danmark, Storbritannia, Tyskland, Kina, Nederland, Polen, Japan og Korea. Til sammen er det omtrent 3350 ansatte i Moelven-konsernet (Moelven, 2021b).

### **1.1.1 Moelven Våler AS**

Moelven Våler AS er et selskap som hører til under divisjon Timber. Dette er Norges største sagbruk. I dette selskapet er det omtrent 70 ansatte, og de omsetter for 404 millioner norske kroner (Moelven-Våler, 2020). Moelven Våler AS er det første norske sagbruk som har røntgensortering av tømmer (Moelven, 2021c). Tilbake i 2018, investerte de 58 millioner kroner i ei røntgenramme. Dette investeringsprosjektet, som blant annet har fått støtte fra Innovasjon Norge, vil gjøre at en større andel av hver tømmerstokk blir utnyttet. Det vil igjen



føre til mindre svinn og sende sagbruket i en mer bærekraftig retning (Håland, 2018). Det er nettopp denne røntgenramma denne studien omhandler.



Figur 1: Sortering av tømmer hos Moelven Våler AS. Hentet fra Østlendingen (Håland, 2018)

## 1.2 Problemstilling

Med bakgrunn i at Moelven Våler har investert i røntgenramme, ønsker de å kunne utnytte denne så godt som mulig. De ønsket derfor å undersøke hvilken parameterinnstilling som skal benyttes for optimal sortering av høykvalitets tømmer.

Formuleringen av studiens problemstilling er derfor:

***Hvilken faktor gir det høyeste utbytte av høykvalitetstømmer ved forsortering med røntgenramme, og hvor stor andel T26 gir denne?***

Problemstillingen blir tatt opp og besvart i kapittel 7.

## 1.3 Formål med oppgave

Formålet med oppgaven er å svare på problemstillingen gjennom teoriinnhenting, og resultater fra analyse og testing. Dette blir gjort for å få en ønsket effekt for Moelven Våler, nemlig at de skal kunne utnytte røntgenteknologien optimalt. Da det er ønskelig at Moelven Våler kan ta ut ønskede trekvaliteter tidlig i produksjonsprosessen, med en solid treffsikkerhet slik at produktene møter kundens krav.

I en e-post (datert 15.03.2021) omhandlende sortering av trevirke fra produksjef hos Moelven Våler AS, Hans Marius Skjærstad, kommer det frem at 75-80% av tømmeret går til klasse T15 – T22. Her mener han at det er mye tømmer som kunne vært klassifisert høyere. Dette speiler seg tilbake til problemstillingen for oppgaven, og er nettopp det som skal undersøkes. Ved å kunne sortere ut høy kvalitet tidlig, gis det en bedre mulighet til å levere varer til kunder som krever høyere kvalitet enn hva som er standard på markedet

## 1.4 Oppgavens oppbygging og avgrensing

### 1.4.1 IMRoD

Denne oppgaven følger et løst oppbygd IMRoD-prinsipp. Med «løst oppbygd» menes det at den ikke helt rigid følger IMRoD-prinsippet. Dette er fordi teori er plassert i kapittel 2, noe som avviker fra en original IMRod-struktur. Dette er gjort fordi det er nødvendig med tilstrekkelig forklart teori før resultater og diskusjon begynner. Case og materialer i kapittel 3, og konklusjon i kapittel 7, er også lagt på i tillegg fra en vanlig IMRoD-struktur.

Her følger en beskrivelse av hvert enkelt kapittel.

*Tabell 1:*

*Oppgavens kapittelinndeling*

<b>Kapittel</b>	<b>Innhold</b>
1. Innledning	Formålet med dette kapittelet er å gi leseren en

	introduksjon til temaet. I tillegg presenteres oppgavens problemstilling, og det diskuteres miljø og etikk rundt oppgaven.
2. Teori	Formålet med dette teorikapittelet er å redegjøre for aktuell teori, begreper og litteratur som brukes videre i oppgaven. Teorien skal være relevant for de senere resultat- og analysekapitlene i avhandlingen.
3. Case og materialer	Formålet med dette kapittelet er å presentere oppgavens case på detaljnivå. I tillegg presenteres de materialene som vil bli brukt i denne oppgaven.
4. Metode	Formålet med dette kapittelet er å redegjøre for hvordan det metodisk er gått frem for å løse oppgaven. Kapittelet skal gi svar på blant annet hvordan data er samlet inn og deretter behandlet, hvorfor nettopp denne metoden ble valgt, og om hvilke styrker – og eventuelt svakheter – den valgte metoden har. Dette er for å vise refleksjon ovenfor eget arbeid, samt fremheve oppgavens troverdighet og resultatenes pålitelighet på en ryddig måte. I tillegg skrives det litt om det økonomiske rundt denne oppgaven.
5. Resultater	Formålet med dette kapittelet er å formidle resultatene fra både simulering i database, maskinsortering hos Moelven Våler AS og fra testingen av ferdig produkt på lab.
6. Diskusjon og analyse	Formålet med dette kapittelet er diskutere funnene som blir gjort resultatkapittelet, sett i lys av teorikapittelet.
7. Konklusjon	Formålet med dette kapittelet er å svare på oppgavens forskningsspørsmål, ved hjelp av oppgavens funn.
Vedlegg	I dette kapittelet er det vedlagt resultater fra styrkesortering og bøyetesting, i tillegg til møterefater og samtykker.

## 1.4.2 Avgrensinger

Etter ønske fra Moelven Våler, ser denne oppgaven kun på gran klasse 10 (G10). Det betyr at eksempelvis furu, som også sages hos Moelven Våler, ikke er vektlagt i oppgaven. Når det gjelder styrkeklasser, er det klasse T26 som har vært ønskelig å ta ut i røntgenmaskina. Følgelig har det blitt fokusert lite på lavere styrkeklasser i denne oppgaven.

I røntgenmaskina er det mulig å sortere ut ifra et stort antall parametere, der de antatt viktigste blir utdypet senere i oppgaven. I denne oppgaven er det valgt ut tre parametere for å begrense resultatområdet, og for at jobben med testing skal være gjennomførbar. De tre parametere er nøye utvalgt sammen med ekspertisen i Norge på dette området, slik at det skal gi et best mulig resultat. Når det gjelder testingen i etterkant av styrkesorteringen (bøyetest), er den naturlig begrenset av testmaskina på NTNU, som er den eneste maskina forfatterne har tilgang til. Den begrenser seg til opplagerne på 900 mm c/c, og høyden på 300 mm.

I oppgaven er det ikke gått i dybden på de økonomiske aspektene knyttet til resultatene. Dette er av den enkle grunn av omfanget ville blitt for stort, og tiden for kort.

## 1.4.3 Referansestil

I denne teksten er det benyttet referansestilen Harvard, som NTNU mener skal brukes innen samfunnsfag, teknologi og naturvitenskap. Forfatterne har brukt EndNote som referanseverktøy, og som Innsida anbefaler, er det brukt den norske oversettelsen av Harvard-stilen som heter «NTNU-Harvard bokmål 2020 høst». Forfatterne har brukt noe personlig kommunikasjon i form av e-poster, møtesamtaler og teams-samtaler under utformingen av rapporten, og det er hentet inn samtykke fra disse samtalepartnerne for å referere til dem. Som Harvard-stilen sier, er det er ikke nødvendig med referanser til personlig kommunikasjon i løpende tekst, så lenge informasjonen ikke kan hentes frem igjen. Samtykkene fra disse samtalepartnerne er vedlagt i Vedlegg 5: «Samtykker» (NTNU, 2021).

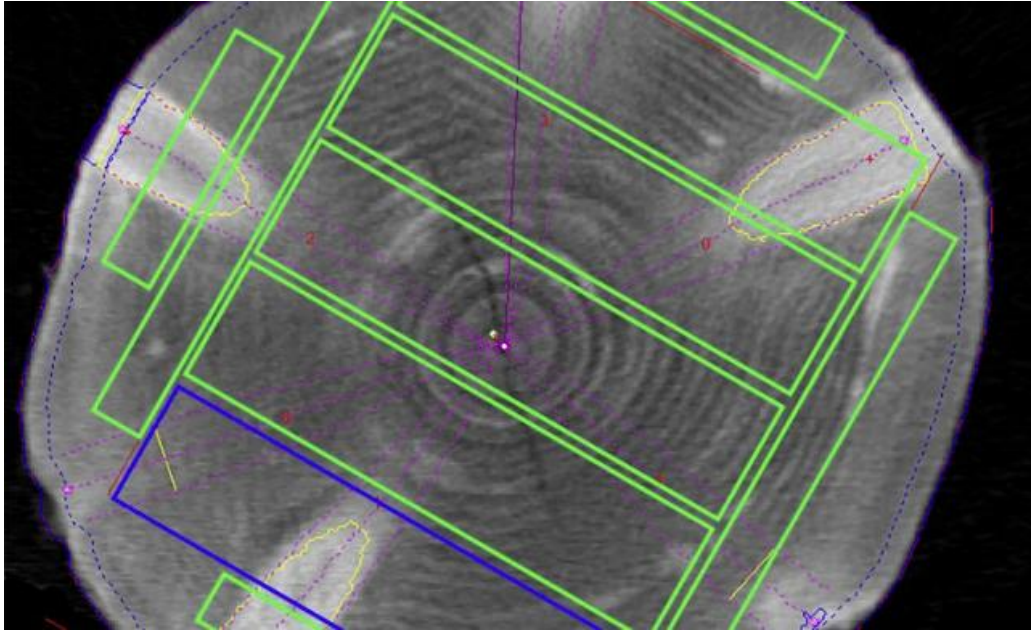
## 1.5 Etikk, miljø og innovasjon

I hvilken som helst oppgave er det viktig å være bevisst på de etiske aspektene i prosjektet. Dette gjelder både i møte med kontaktpersoner, og hvilke konsekvenser som etterarbeid ut ifra opplysningene i denne oppgaven, kan gi. Alle navngitte personer som har uttrykt sine meninger i forbindelse med oppgaven, har gitt sitt samtykke til å bli nevnt i denne oppgaven (se vedlegg 5). Når det gjelder bruk av opplysninger i forbindelse med arbeid i denne oppgaven, har det dukket opp svært få etiske dilemmaer som er negativt ladd.

Forfatterne av denne oppgaven tror og håper at oppgaven kan være med å påvirke styrkesortering av tre positivt i mange år fremover. For allmennhetens interesse mener forfatterne at oppgaven er interessant på grunn av at det kan føre til nye muligheter når det gjelder boligbygging og andre konstruksjoner. Dersom det er mulig å styrkesortere sterkere tømmer ved hjelp av røntgenramme, vil det føre til sterkere og mindre limtre lameller som igjen kan brukes til nye løsninger i bolighus.

Når det gjelder miljøaspektet i denne oppgaven, er trevirke ved riktig anvendelse et bærekraftig materiale (Trefokus og Treteknisk, 2004). Forfatterne av denne oppgaven mener derfor at forskning på høykvalitetstømmer også medfører gode miljøaspekter. Når det gjelder gran, som denne oppgaven omhandler, er det vårt fremste byggemateriale i Norge. Gran har mange gode kvaliteter, herunder lett å bearbeide, lime og overflatebehandle. Dette gjør at produktet kan brukes til mange forskjellige formål, og til og med erstatte andre materialer som er mindre fornybare (Trefokus og Treteknisk, 2011). Store deler av samfunns- og miljøaspektet i denne oppgaven kan knyttes opp mot FNs bærekraftsmål. Disse målene tas opp mer konkret i kapittel 1.5.1.

Røntgenmaskina har et program som ved hjelp av analyse, optimaliserer utnyttelsesgraden i tømmerstokken. Det vil si at hvis det er ønskelig å ta ut styrkeklasse T26, bestemmer røntgenmaskina det beste skjæremønsteret for å kunne utnytte den delen av tømmerstokken som eventuelt er igjen. Ved å gjøre dette, oppnår man minst mulig svinn. Dette er vist et eksempel på i figur 2 (microtec.eu, 2021).



Figur 2: Optimalisering av tømmerstokkens tverrsnitt. Bilde: Microtec.eu

Oppgaven i seg selv vil ha et tilnærmet ubetydelig klimaavtrykk. Det er et lite parti tømmer som sages hos Moelven Våler til denne oppgaven, og sammenlignet med det som daglig sages der, vil klimautslippet fra dette partiet være veldig lite. Frakt av tømmer fra Moelven Våler til testmaskina ved NTNU Gjøvik, vil imidlertid medføre noe klimautslipp.

Oppgaven sett i et innovativt lys er også spennende. Dersom oppgaven oppnår ønsket resultat, vil det føre til sterkere tømmer. Som følge av det vil Moelven Limtre kunne produsere en sterkere limtrebjelke, med mindre eller lik dimensjon som dagens bjelker. Det vil kunne åpne opp for noen nye løsninger for arkitekter, som ikke har hatt de samme mulighetene med bruk av trevirke tidligere. Oppgaven vil derfor kunne gjøre innovative skritt både arkitektonisk og byggeteknisk.

### 1.5.1 FNs bærekraftsmål

Mange av FNs bærekraftsmål kan knyttes direkte opp mot samfunns- og miljøaspekter i denne oppgaven. Disse målene er ifølge FN, verdens felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringen innen 2030. Mange av FNs bærekraftsmål kan knyttes direkte opp mot samfunns- og miljøaspekter i denne oppgaven (FN-sambandet, 2021a).

FN har utarbeidet 17 bærekraftsmål, som vist i figur 3. Videre følger en oversikt over hvilke av bærekraftsmålene som denne oppgavens funn er mest relevant for å bidra til.



Figur 3: FNs bærekraftsmål. Hentet fra FN-sambandet sine nettsider (til fri bruk).

**Mål 11: Bærekraftige byer og lokalsamfunn:** Byer står for 75 % av alle klimagassutslipp. Fremtidens byer må både reduserer forurensning og en mer bærekraftige bruk av ressurser. Spesielt delmål 11.3 og 11.6 er relevant for denne oppgaven. Delmål 11.3 omhandler bærekraftig samfunnsplanlegging og urbanisering, mens 11.6 tar for seg reduksjon av negative miljøpåvirkning med vekt på lokalsamfunn og luftkvalitet (FN-sambandet, 2021b).

**Mål 12: Ansvarlig forbruk og produksjon:** I dag forbruker vi mye mer enn hva som er bærekraftig for kloden. For å sikre gode levevilkår for fremtidige generasjoner, er det viktig å minske ressursbruken, miljødeleggelsen og klimautslippene. Spesielt delmål 12.2 er relevant for denne oppgaven. Det sier at innen 2030 skal det oppnås bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser (FN-sambandet, 2021c).

**Mål 15: Livet på land:** Skogen dekker 30 prosent av jordas overflate, og vi mennesker fortsette å ødelegge helsen til jordas økosystem på land. Mange land har satt i gang tiltak for en mer rettferdig bruk av naturressursene. Likevel krever dagens situasjon en større handling. Spesielt delmål 15.2 og 15.b er relevant for denne oppgaven. Delmål 15.2 sier at innen 2020 skal det fremmes en innføring av en bærekraftig forvaltning av all slags skog, stanse avskoging, gjenopprette forringende skoger, og i betydelig grad øke gjenreising og nyplanting

av skog på globalt nivå. Delmål 15.b sier at det skal mobiliseres betydelige ressurser fra alle kilder og på alle nivåer for å finansiere en bærekraftig skogforvaltning, og sørge for forvaltning i utviklingslandene, med blant annet bevaring og nyplanting av skog (FN-sambandet, 2021d).

**Mål 17: Samarbeid for å nå målene:** Bærekraftsmålene skal fungere som en felles, global retning og prioritert innsats de neste 15 årene. Myndigheter, næringslivet og sivilsamfunnet må samarbeide for å oppnå bærekraftig utvikling (FN-sambandet, 2021e).

## 1.6 Symboler og definisjoner

<i>Assimilerende</i>	Omdanner næringsstoffer til en del av organismen.
<i>Avsmaling</i>	Uttrykker trestammen rettvoksthet – hvor mye stammen smalner inn pr. meter.
<i>Bark</i>	Ytterste lag på en trestamme
<i>Bonitet</i>	«Godhet». Klassifisering av vekststeder med ulike vekstpotensial for trær. En indikator for god grobunn.
<i>Densitet</i>	Annet ord for tetthet. Symboliseres med den greske bokstaven rho, $\rho$ . Oppgis stort sett i $\text{kg/m}^3$
<i>E-modul</i>	Elastisitetsmodul – et materiales forhold mellom fasthet og tøyning (motstand mot elastisk deformasjon). Oppgitt i $\text{N/mm}^2$
<i>F (Force, kraft)</i>	Måleenhet for kraft, oppgitt i Newton (N).
<i>Fiberhelling</i>	Fiberretningens avvik i forhold til trestykkets lengderetning
<i>Insektskader</i>	Biologisk nedbrytning grunnet insekter. Ofte tunnelformede ganger som kan sees på overflaten.
<i>IP-verdi</i>	«Indicating property», et estimat på en verdi



<i>Krok</i>	En stokk har krok når stokkens sentrumslinje ikke danner en rett linje.
<i>Kvaelommer</i>	Linseformet hulrom i virket som inneholder/har inneholdt kvaer.
<i>Lamell</i>	Ett lag (én planke) i en limtrekomponent.
<i>Middeltømmer</i>	En blanding av midtstokker og rotstokker (se forklaringer lengre ned)
<i>Midtstokk</i>	Svartkvist, og grov, frisk kvist. Midtre delen av stokken mellom rotstokk og toppstokk. Noe mykere ved enn i rotstokk.
<i>Misfarging</i>	F.eks. blåved, forårsaket av sopp. Kan også være råte, eller misfarging fra vær og vind.
<i>NS-EN</i>	EN – Europeisk standard, som senere er annektert som norsk standard (NS)
<i>Ph.d.</i>	Philosophiae doctor, doktorgrad. Det høyeste nivået for formell utdanning i Norge.
<i>Romdensitet</i>	Massen av et materiale, delt på hele volumet, inkludert hulrom
<i>Rotstokk</i>	Nederste delen av stokken, over rotkneet. Rotstokken består ofte av småkvist og stiv ved.
<i>Sommerved</i>	En del i treet som vokser på sommeren, har tykkere vegger i cellene enn i vårveden
<i>Tennar</i>	Trykkved, reaksjonsved som typisk dannes på undersiden av grener eller skrå/bøyde bartrestammer
<i>Toppbrudd</i>	Toppbrudd er fiberavvik som skyldes skade på toppen av et voksende tre
<i>Vindskjevhet</i>	En skrueformet deformasjon av trelasten i trestykkets lengderetning
<i>Vre</i>	Vre er fiber som vokser i tette, ujevne kurver. Kraftig fiberforstyrrelse som medfører betydelig svekkelse i trevirket.
<i>Vårved</i>	Den delen av treet som vokser på våren, har tynne vegger i cellene

*Årringbredde*

Radiell lengde over størst mulig lengde, målt minst 25 mm fra margen.  
Blir definert som  $l/n$ , der  $l$  er målelengden og  $n$  er antall årringer over målelengden.

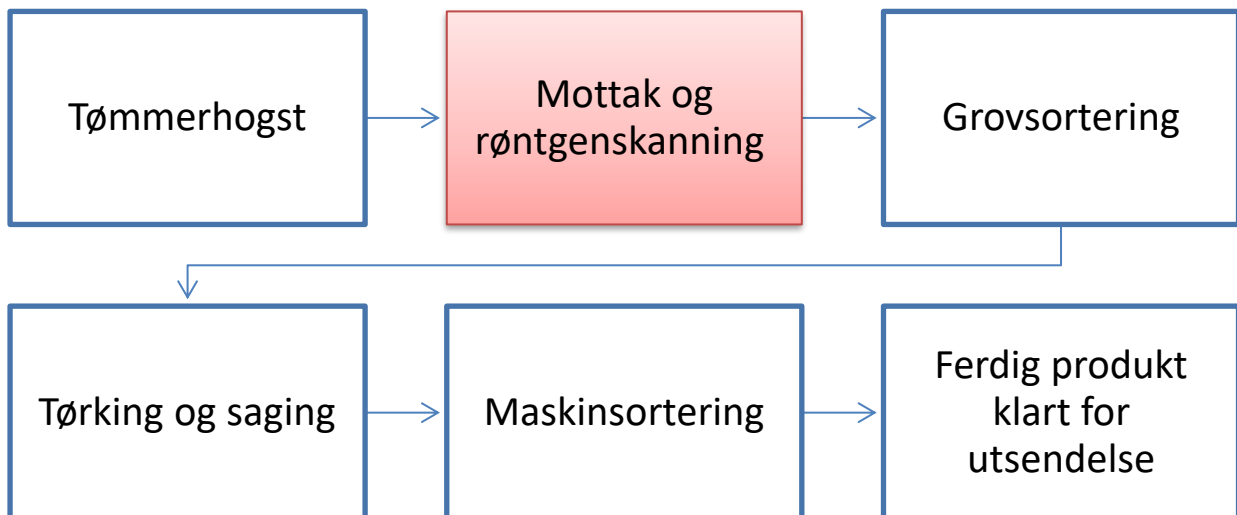
# 2 Teori

## 2.1 Innhold

Teoridelen er forsøkt forklart på en slik måte at det ikke skal være nødvendig med svært omfattende bakgrunnskunnskap om emnet for å være i stand til å forstå hovedessensen av innholdet.

Teorikapittelet inneholder først en gjennomgang av treets oppbygning og avgjørende egenskaper for styrke. Deretter følger en gjennomgang av hvilke metoder som blir brukt til sortering av fasthet og styrke, fra tømmeret kommer inn på sagbruket til det blir bearbeidet til ferdig produkt. Det vil også bli gitt en innføring i røntgenrammens virkemåte. Antatt vanskelige ord og begreper er definert i kapittel 1.6, «Symboler og definisjoner».

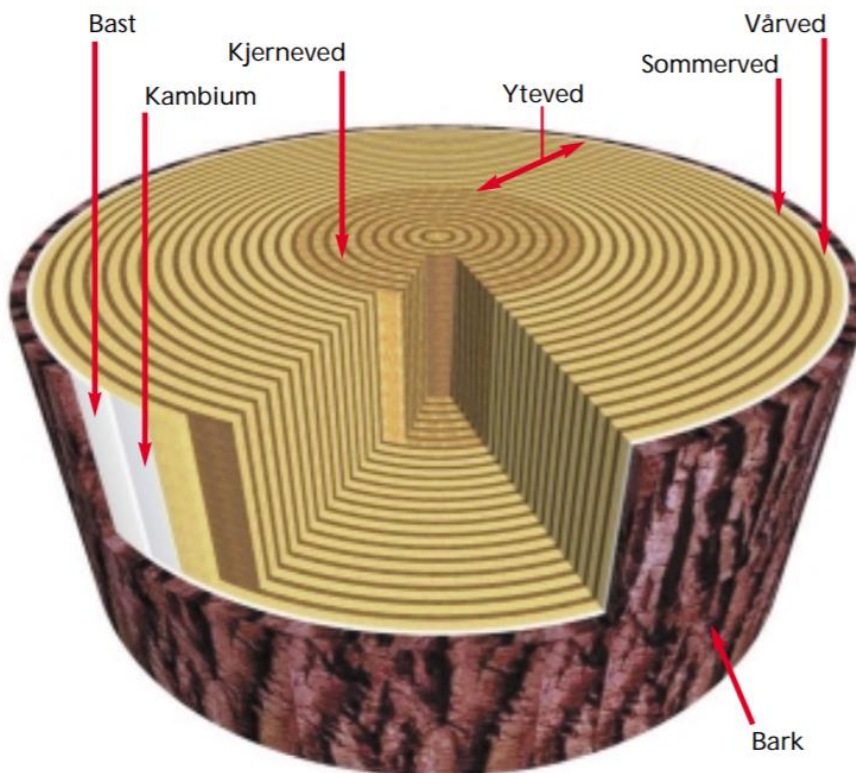
Figur 4 viser hvor i sorteringsløpet røntgenskanningen finner sted:



Figur 4: Skjematisk fremstilling av tømmerets syklus hos Moelven Våler

## 2.2 Grunnleggende om trevirkets egenskaper

Et tre har en meget komplisert oppbygging. I tillegg har også hvert enkelt treslag sin helt egne karakteristiske oppbygging. Selv om trærne i det samme treslaget har lik oppbygging, er alle trær unike. Figur 5 viser treets laginndeling (Skaug, 2020).



Figur 5: Viser treets oppbygging. Hentet fra trefokus.no, rapport 40 side 3.

Når det gjelder produksjon av materialer fra tømmeret, er det kjerneved og yteved som er de viktigste begrepene å ha kontroll på. Den viktigste forskjellen mellom kjerne- og yteveden er at kjernevedens hovedfunksjon er mekanisk å holde stammen oppe, mens yteveden fortsatt er delaktig i de assimilerende prosessene hos treet (Skaug, 2020).

Kjerneveden består av døde celler. Som vist i figur 5 finner man kjerneveden i sentrale deler av stammen. Det er litt forskjell på kjerneveden hos de forskjellige treslagene. Gran har veldig liten, eller ingen synlig forskjell mellom kjerne- og yteveden. Hos for eksempel furu er det helt annerledes, da den har en gul-hvit yteved og rødlig kjerneved (Moelven, 2021d). Når det

dannes kjerneved, vil linseporene lukkes og permeabiliteten avta. Dette er med på å gjøre veden vanskeligere å impregnere. Kjerneveden er naturlig mer holdbar enn yteveden fra naturen sin side (Skaug, 2020).

Yteveden finner man utenfor kjerneveden. Denne delen av treet har en forholdsvis åpen og permeabel struktur, og den er derfor lett å impregnere. Yteveden inneholder reservestoffer som fett, sukkerarter, stivelse og proteiner. Sammensetningen av trets ulike egenskaper er sentrale for videre bruk som konstruksjonsmateriale (Skaug, 2020).

## 2.3 Nordisk gran

På Moelven Vålers sagbruk er det hovedsakelig nordisk tømmer som blir brukt. Det innebærer furu og gran, som først og fremst kommer fra skoger i Midt-Sverige og Sørøst-Norge. I norske skoger vokser det mer gran enn furu (Sunding, 2020). Ifølge tall tatt fra en presentasjon om Moelven Våler den 09.09.2020, var tømmerforbruket på sagbruket nesten dobbelt så mye gran som furu i 2019. Henholdsvis 116 262 m<sup>3</sup> furu og 252 607 m<sup>3</sup> gran (Moelven-Våler, 2020). I skogområdene Midt-Sverige og Sørøst-Sverige er tømmeret særlig kjent for sine gode kvaliteter. Disse kvalitetene er eksempelvis langsom vekst, høy densitet, fine kvistbilder og gode styrkeegenskaper (Moelven, 2021d). Trevirket det er sett på i denne oppgaven er som nevnt gran, og det er dette som vil bli prioritert.

Det finnes mange typer gran, men i Norge har vi bare én type viltvoksende gran, nemlig såkalt vanlig gran. Denne blir kalt «Norway Spruce» på engelsk og «Picea abies» på latin. Barken på grana er tynn, og kvistene er harde og relativt små, noe som gjør treverket sterkere. På grunn av vedens oppbygging, kan ikke gran trykkimpregneres. Gran har en ensartet fargetone, og har derfor ikke den samme fargekarakteren som for eksempel furu har (Aune, 2020).



Figur 6: Viser eksempel på en vanlig gran, en frøkongle og en typisk kvist. Hentet fra snl.no

Typiske egenskaper for gran er at trevirket er relativt lett, og til tross for dette har god styrke. Det vil si at det har høy styrke og stivhet. På grunn av den spesielle cellestrukturen har grana relativt lavt inntak av fuktighet. Dette er med på å gi en god holdbarhet. Dersom tømmeret skal brukes videre, har grana god limbarhet og den er enkel å bearbeide og overflatebehandle (Moelven, 2021d).

## 2.4 Inndeling av styrkeklasser

Ut ifra tømmerets egenskaper, blir tømmeret på sagbruket bearbeidet og merket med en styrkeklasse. Poenget med å dele inn trevirke i styrkeklasser, er å gjøre det mulig for en ingeniør eller andre prosjekterende å være i stand til å bruke de karakteristiske styrkeklassene i dimensjonerende utregninger (Standard Norge, 2016).

I denne oppgaven er det en ønskelig bieffekt å kunne sortere ut tømmer med gode nok egenskaper til å møte styrkekravene for limtreklasse GL32c, med betydning «Combined Glue Laminated Timber», i styrkeklasse 32. *Combined* (kombinert) sikter til en trekomponent som for eksempel en bjelke, oppdelt i flere lag der ytter- og innerlagene har forskjellige styrkeklasser (Standard Norge, 2013). De ulike lagene kan deles opp i lameller (én lamell tilsvarer ett lag i limtrekomponenten) som stort sett oppgis med en klasse C eller T etterfulgt av et nummer. Klasse C består av trevirke som på engelsk kalles «softwood», som er f.eks.

gran eller furu, etterfulgt av et tosifret tall som tilsvarende trestykkets karakteristiske bøyefasthet. Denne er gitt av en 5-percentil av en antatt normalfordelt kurve. Et eksempel kan være C40. 5-percentilen vil si at 95 % av trestykkene i klasse C40 har bøyefasthet større eller lik  $40 \text{ N/mm}^2$ , mens 5 % da regnes til å ha lavere verdi. Dette er en måte å sikre at kvaliteten på trestykkene er god nok når de skal brukes som dimensjonerende materiale i konstruksjoner. T-klassen brukes hovedsakelig innen limtre, eller andre komponenter hvor strekkfasthet er gjeldende. T-klassen har et tall etter seg som tilsvarende den karakteristiske strekkfastheten, også oppgitt i en 5-percentil (Standard Norge, 2016).

Figuren 7 viser en plankes krav for 4 sentrale faktorer (Standard Norge, 2013):

- $f_{t,0,l,k}$  – referer til karakteristisk strekkfasthet som 5-percentil, oppgitt i  $\text{kN/mm}^2$ .
- $E_{t,0,l,mean}$  – referer til gjennomsnittlig elastisitetsmodul for strekk i fiberretning. Oppgitt i  $\text{kN/mm}^2$ .
- $\rho_{l,k}$  – referer til karakteristisk densitetsverdi som 5-percentil, oppgitt i  $\text{kN/mm}^2$ .
- $f_{m,i,k}$  – referer til karakteristisk bøyefasthet som 5-percentil, oppgitt i  $\text{N/mm}^2$ .

**Table 1 — Characteristic strength and stiffness properties for T-classes in N/mm<sup>2</sup> and densities in kg/m<sup>3</sup> for boards or planks for glued laminated timber**

T - class of boards <sup>a</sup>	$f_{t,0,l,k}$	$E_{t,0,l,mean}$	$\rho_{l,k}$
T8 (C14)	8	7 000	290
T9	9	7 500	300
T10 (C16)	10	8 000	310
T11 (C18)	11	9 000	320
T12 (C20)	12	9.500	330
T13 (C22)	13	10 000	340
T14 (C24)	14	11 000	350
T14,5	14,5	11 000	350
T15	15	11 500	360
T16 (C27)	16	11 500	370
T18 (C30)	18	12 000	380
T21 (C35)	21	13 000	390
T22	22	13 000	390
T24 (C40)	24	13 500	400
T26	26	14 000	410
T27 (C45)	27	15 000	410
T28	28	15 000	420
T30 (C50)	30	15 500	430

<sup>a</sup> The C-Classes according to EN 338:2009 meet at least the required values of the respective T-classes.

Figur 7: Utklipp av tabell 1 fra NS-EN 14080:2013, side 21.

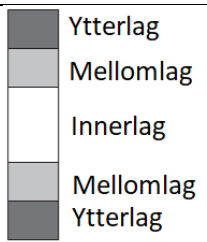
I aktuelle standarder oppgis det mange faktorer for styrke og fastheter (se kapittel 4 i NS-EN 338:2016). Ettersom oppgaven ikke omhandler en sammensatt limtrekomponent, men kun de enkelte lamellene, vil det ikke gås nærmere inn på aktuelle fasthetskrav for en hel komponent. Likevel er det verdt å nevne at Moelven Limtre i størst grad er interessert i variantene av GL32c, som benytter enten en kombinasjon av T26 og T15 (som gir GL32,4c, altså litt bedre enn standard GL32c), eller en kombinasjon av T24 og T15. Dette kommer frem i en e-postutveksling med administrerende direktør i Moelven Limtre AS, Rune Abrahamsen, den 02.03.2021. Videre kommer det frem at kombinasjonen med T24 og T15 krever en styrke på  $f_{m,k} = 46$  MPa i fingerskjøtene. Grunnen til at det er ønsket å benytte seg av T15, er fordi dette er en standard sortering som Moelven Limtre har god tilgang til.

Klasse GL32c krever, ifølge NS-EN 14080 (tabell 2, side 22), å være én av følgende tre varianter vist i tabell 2 (Standard Norge, 2013):



Tabell 2:

Tabell som viser lamelltype, samt illustrasjon for de forskjellige lagene i GL32c

Klasse	Ytterlag	Mellomlag	Innerlag	
GL32c	T24	T14	T18	
GL32c	T26	T14	T14	
GL32c	T26	T18	T11	

Glued laminated timber Strength class	Outer zones of laminations			Intermediate zones of laminations			Inner zone of laminations		
	Strength class	Proportion [%]	$f_{m,j,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Strength class	Proportion [%]	$f_{m,j,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Strength class <sup>a</sup>	Proportion [%]	$f_{m,j,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
GL 20c	T13	2x33	21	-	-	-	T8	34	18
GL 22c	T13	2x33	26	-	-	-	T8	34	18
GL 24c	T14	2x33	31	-	-	-	T9	34	19
GL 26c	T16	2x33	34	-	-	-	T11	34	22
GL 28c	T18	2x25	37	-	-	-	T14	50	28
GL 28c	T21	2x17	36	-	-	-	T14	66	26
GL 28c	T21	2x17	38	-	-	-	T13	66	25
GL 28c	T21	2x25	35	-	-	-	T11	50	22
GL 28c	T21	2x20	35	T14	2x20	28	T11	20	22
GL 28c	T22	2x20	35	-	-	-	T13	60	25
GL 30c	T22	2x17	40	-	-	-	T15	66	27
GL 30c	T22	2x17	41	-	-	-	T14	66	28
GL 30c	T22	2x20	40	T14	2x20	30	T11	20	22
GL 30c	T22	2x17	42	T14	2x23	31	T11	20	22
GL 32c	T24	2x17	44	-	-	-	T18	66	31
GL 32c	T26	2x17	45	-	-	-	T14	66	26
GL 32c	T26	2x10	48	T18	2x20	32	T11	40	22

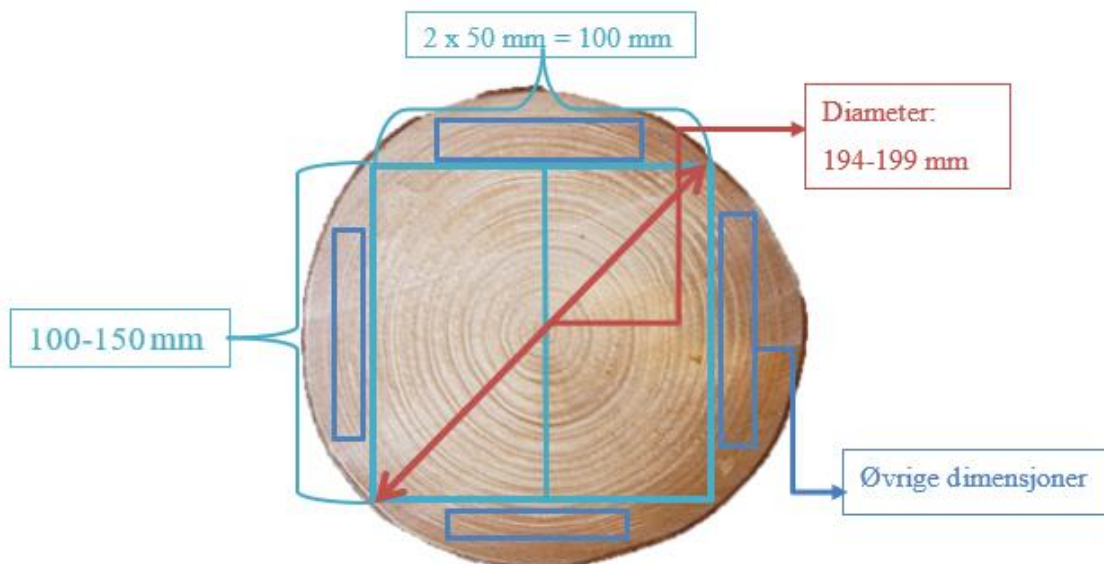
Figur 8: Utklipp av tabell 2 fra Standard NS-EN 14080:2013, side 22.

Som figur 8 viser, er bøyekravene for de ytterste lamellene i GL32c, 45 N/mm<sup>2</sup> (MPa) dersom T26 blir brukt i kombinasjon med T14, eller 48 N/mm<sup>2</sup> dersom T26 blir brukt i kombinasjon med T11 (Standard Norge, 2013).

## 2.4.1 Gran klasse 10

Gjennom e-postutvekslinger med nevnte produsent i Moelven Våler, Hans Marius Skjærstad, henholdsvis den 15.03.2021 og 29.04.2021, fikk forfatterne kjennskap til gran klasse 10. Lamellene det er snakk om i oppgaven, blir skåret ut i dimensjonene 50x100-150 mm. For å få mest mulig ut av hver enkelt tømmerstokk blir det for G10, valgt ut stokker med sorteringsdiameter 194-199 mm. Med denne diameteren får man høy utnyttelse og det blir lite svinn. Der tømmeret er delt opp i tre deler (rotstokk, midtstokk og toppstokk), er klasse 10 i prinsipp kun rot- eller midtstokk. Dette er fordi diameteren er for stor til at toppstokken kan brukes samtidig som at diameteren passer til rot- og midtstokk, på grunn av avsmaling i stammen. Gran blir for øvrig klassifisert fra klasse 10-26. Ved dårligere bestand, blir stokkene ofte kappet opp i 2-3 deler. Ved god bestand – skog med lange trær – kappes gjerne grantømmer opp i 4 stokker ved sluttavvirkning (saging):

- 1 rotstokk
- 2 midtstokker
- 1 toppstokk – men her må minste diameter under barken være 130 mm.



Figur 9: Forsøk på en grafisk fremstilling av hvilken dimensjon som blir hentet ut av tømmerstokkene.

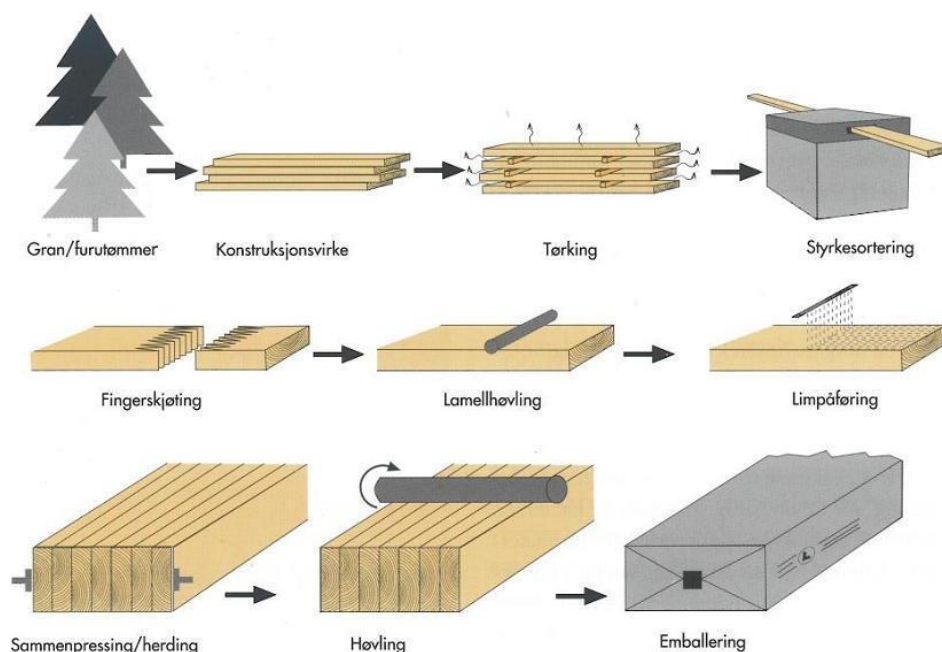
Underlagsbilde: Skoleskogen.no

## 2.4.2 Limtre

Et av bruksområdene til G10-trevirke, er til bruk i limtrekonstruksjoner. Derfor kommer det nå en kort introduksjon til hva limtre er, og hvilke egenskaper det har.

Limtre er et byggemateriale som fremskaffes ved å fingerskjøte sammen mange trelameller, som deretter presslimes til en lang drager. Ved å bruke fingerskjøtte lameller av styrkesortert virke, kan det produseres bjelker av varierende form og størrelse. Sett i et miljømessig perspektiv har limtre åpenbare fordeler sammenlignet med stål og betong. Tre er det eneste virkelig fornybare byggematerialet, og ettersom limtre er basert på tre er også det fornybart (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).

Egenskapene til limtre er utmerket både på styrke og stivhet. Om man sammenligner styrke i forhold til vekt er limtre bedre enn stål. Når man bygger opp limtre er det vanlig at de ytterste lamellene har bedre kvalitet enn de lamellene i midten. Krav for limtre blir beskrevet i standarden NS-EN 14080. Under, på figur 10, er det vist en skjematisk fremstilling av hvordan limtreproduksjonen fungerer (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).



Figur 10: Skjematisk fremstilling av limtreproduksjon. Hentet fra bacheloroppgaven «Bærende trekonstruksjoner og sammenføyninger», side 16 (2013).

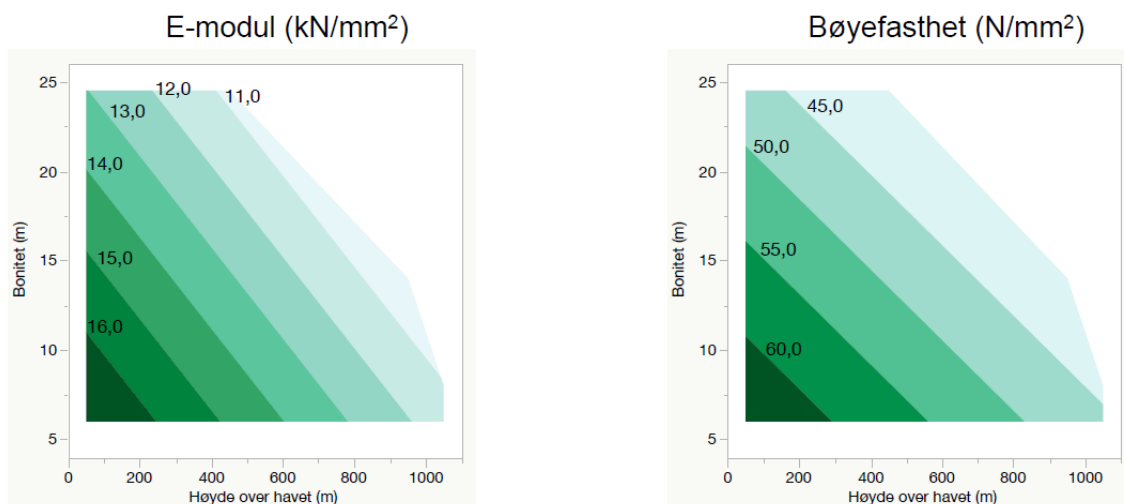
## 2.5 Avgjørende faktorer for styrke og fasthet

Før forskningsprosjektet «Tresterk» ble igangsatt i 2014 av Treteknisk Institutt, var den høyeste fasthetsklassen som ble sortert ut i Norge, C30. Dette har også, som tidligere nevnt, Moelven Våler mulighet til. Denne klassen har karakteristisk bøyefasthet på 30 N/mm<sup>2</sup>. Dette er lavere enn gjennomsnittsfastheten på trelast fra norsk sagtømmer som ligger på godt over 40 N/mm<sup>2</sup> (Flæte, 2016). Forfatterne har også vært i kontakt med administrerende direktør hos Treteknisk, Audun Øvrum, i forbindelse med denne oppgaven for å få innsikt i prosjektets resultater. Moelven Våler fikk være med på dette Tresterk-prosjektet der det ble gjort forsøk på å ta ut C40, som også ble testet i laboratorium hos Treteknisk Institutt. C40 fra Moelven har blitt brukt i Steien bru i Alvdal, med et fritt spenn på 88 meter (Flæte, 2016).

Som en del av Tresterk-prosjektet ble det også avlagt en ph.d.-avhandling av Carolin Fischer om tetthets- og bøyeegenskaper for norsk gran. Her kommer de frem til at norsk tømmer har et større, ubrukt potensial når det kommer til bøyefasthet, og at gjennomsnittet fra tester ligger høyere enn 40 N/mm<sup>2</sup> (kravet til kvalitet C40). Bøyeegenskaper er som antatt svært avhengig av E-modul, mens det er kvister og fibersvikt rundt disse som står for den største negative påvirkningen. Når det kommer til maskintesting av trestykker, viser avhandlingen at maskiner som bruker kombinerte faktorer som densitet, resonans og kvistmåling gir de mest nøyaktige målingene. Precigrader en maskin med mulighet for dette. Geografiske faktorer har også mye å si for tømmerets egenskaper (Fischer, 2016).

En annen ph.d. som er aktuell for denne oppgaven kommer fra Luleå Universitet i 2009. Det ble tatt kontakt med forfatterne av avhandlingen for å få full tilgang. Grunnen til denne avhandlingens relevans kan oppsummeres i én setning fra sammendraget: «Log scanning by X-ray and resonance analysis enabled machine strength grading to the strength grade C40 already at the timber yard» (Brännström, 2009). Dette vil altså si at avhandlingen peker på muligheten for å sortere ut C40 ved hjelp av røntgenskanning allerede ved tømmermottaket. Denne avhandlingen kom frem til at bruk av røntgenskanning og maskintesting gir et svært effektivt utbytte av trevirket, og forsortering ved bruk av røntgen er et trygt valg så lenge det antatt beste materialet velges ut til videre bruk (Brännström, 2009).

Prosjektet kommer frem til at **densitet**, **E-modul** (MOE – modulus of elasticity) og **bøyefasthet** (MOR – modulus of rupture) er de viktigste egenskapene til konstruksjonslast, og disse egenskapene varierer betydelig innen europeiske treslag, både innen og mellom ulike land. Det ble samlet inn tømmer fra 14 felt på Sørlandet, Østlandet og Trøndelag, og deretter ble trelasten skåret, tørket og styrkesortert. E-modul og bøyefasthet ble registrert ved firepunkts bøyning i laboratorium, og densitet ble registrert i små prøver tatt ut nær bruddstedet i hvert trestykke. Variasjonen i densitet, E-modul og bøyefasthet ble først undersøkt i et forstudium, basert på data fra tre felter i Østfold. Variasjonen til treets egenskaper ble studert videre, og mye av bestandsvariasjonene ble forklart med negative effekter av høyde over havet og bonitet.



Figur 11: Sammenheng mellom bonitet og høyde over havet for E-modul og Bøyefasthet. Bilde: Geir Vestøl, presentasjon ved NMBU (31.05.2018), side 7.

### 2.5.1 Utdypning av faktorer

Under gis det en utdypning av avgjørende faktorer for trevirkets styrke. Der enkelte faktorer øker styrken til trestykket betraktelig, har andre svært negativ effekt. De negative faktorene gjør i all hovedsak én av to ting: forstyrrer/endrer fiberretningen parallelt med lengderetning, eller svekker selve trefibrene (Trefokus og Treteknisk, 2012). Det finnes for øvrig mange flere krav til styrkeegenskaper, blant annet i den visuelle sorteringsstandarden for nordisk tømmer, NS-INSTA 142:2009 (Standard Norge, 2009).

## **Elastisitetsmodul**

Elastisitetsmodul, også kjent som E-modul, er et uttrykk for et prøvestykke sin motstandskraft mot å deformeres (Foreningen norske Lauvtrebruk, 2020). Et annet ord for E-modulen er stivhet. E-modulen bestemmes ved forholdet mellom en gitt belastning og den påfølgende deformasjonen. Det er mulig å måle dette både for trykk og strekk. Dersom et prøvestykke har høy E-modul, vil det være stivt, og det vil være lite deformasjon (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017).

## **Bøyefasthet**

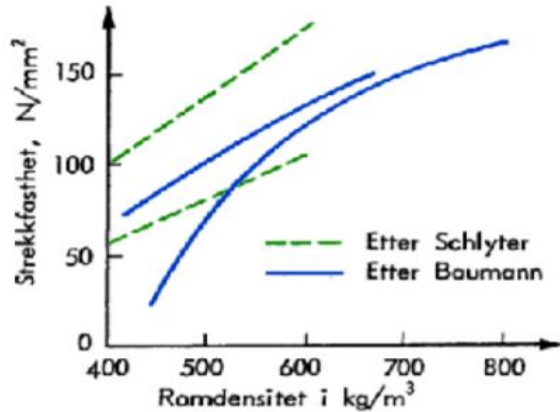
Bøyefastheten viser hvor mye trevirke tåler før trefibrene blir ødelagt ved bøyning; eller enklere sagt, når det knekker. Limtre lameller har ofte verdier oppgitt som strekkfasthet. Dette er i samme område, og her måles en motstandskraft mot destruksjon parallelt med fibrene (Foreningen norske Lauvtrebruk, 2020).

## **Densitet**

En viktig egenskap for tømmer er densitet. Dette kan også kalles massetetthet. Det er et mål på hvor tett et stoff er. Det vil si massen av en viss mengde av stoffet, delt på volumet av den samme mengden, som gir enheten  $\text{kg/m}^3$  (Pedersen, 2020). Romdensiteten til gran ligger vanligvis mellom  $430\text{-}490 \text{ kg/m}^3$ . Det som avgjør romdensiteten, er legemets porøsitet (Egenes, 2017). 5-percentilverdien til densitet for klasse T26, er satt til  $410 \text{ kg/m}^3$  (Standard Norge, 2016).

Densiteten i et bartre er styrt av mange faktorer, og vil derfor variere både i område og treslag, men også i enkelttrær. Den viktigste faktoren for densiteten er forholdet mellom andel sommerved og andel vårved. For å få størst mulig densitet må man ha størst mulig andel med sommerved. Grunnen er at vårved har tynnere cellevegger og dermed lavere densitet. Faktorene som styrer andel av sommerved og vårved er veksthastighet og vekstområde. Trær som vokser i samme geografiske område vil ha tilnærmet konstant sommervedstykkelse (Skaug, 2020).

Densitet er en viktig faktor for flere ting. Blant annet påvirkes strekkfastheten av romdensiteten og fuktighet. Nedenfor er en graf som viser sammenhengen mellom romdensitet og strekkfasthet (Egenes, 2017).



Figur 12: Graf over strekkfasthet for furu avhengig av romdensitet. Hentet fra (Egenes, 2017).

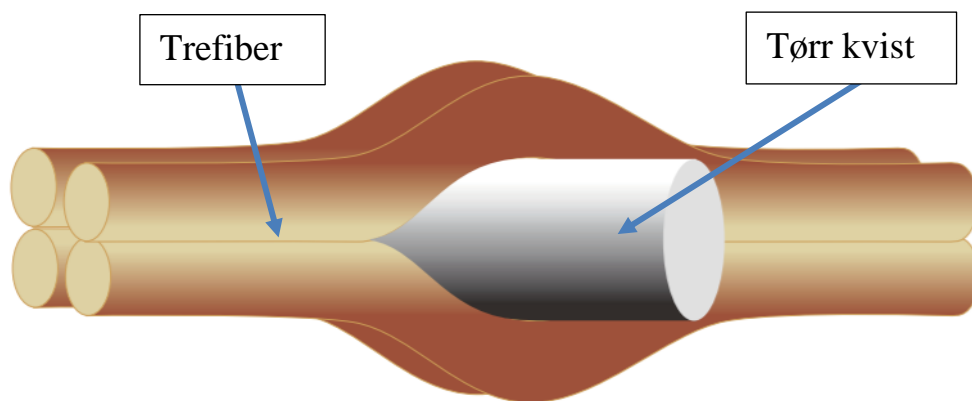
Verdiene en får ut av skanning i røntgenramme, baserer seg på densiteten i både yte- kjerneved, oppgitt i  $\text{kg/m}^3$ . Andelen kjerneved kan også registreres, og sammen med målt densitet, kan dette gi en gjennomsnittlig verdi for hele kjerneveden. Densiteten kan tolkes visuelt som en gradering i farge fra høy densitet i mørkt rød/brun farge, til av densitet som lys gul/grønn farge (Barbiero og MiCROTEC, 2015).

## Kvist

Røntgenskanning muliggjør flere analyser av kvist, eksempelvis volum og avstand.

Kvistvolum er en kjent faktor for å anslå styrke i trestykker (Oja, Grundberg og Källsner, 2005) (Brännström, 2005), og kritisk for å avgjøre bruken i konstruksjonsvirke (Kretschmann og Hernandez, 2006).

Av de faktorene i trevirket som innvirker negativt på kvaliteten, er kvist den verste, uavhengig om den er fersk eller tørket. Når fibre vokser rundt kvisten, vil det oppstå forstyrrelser ved at fibrene blir lagt på tvers av lengderetningen. Dette svekker trevirkets styrke lokalt, og svekkelsen øker i takt med hvor stor andel av tverrsnittet som kvisten opptar (Trefokus og Trefokus, 2012).

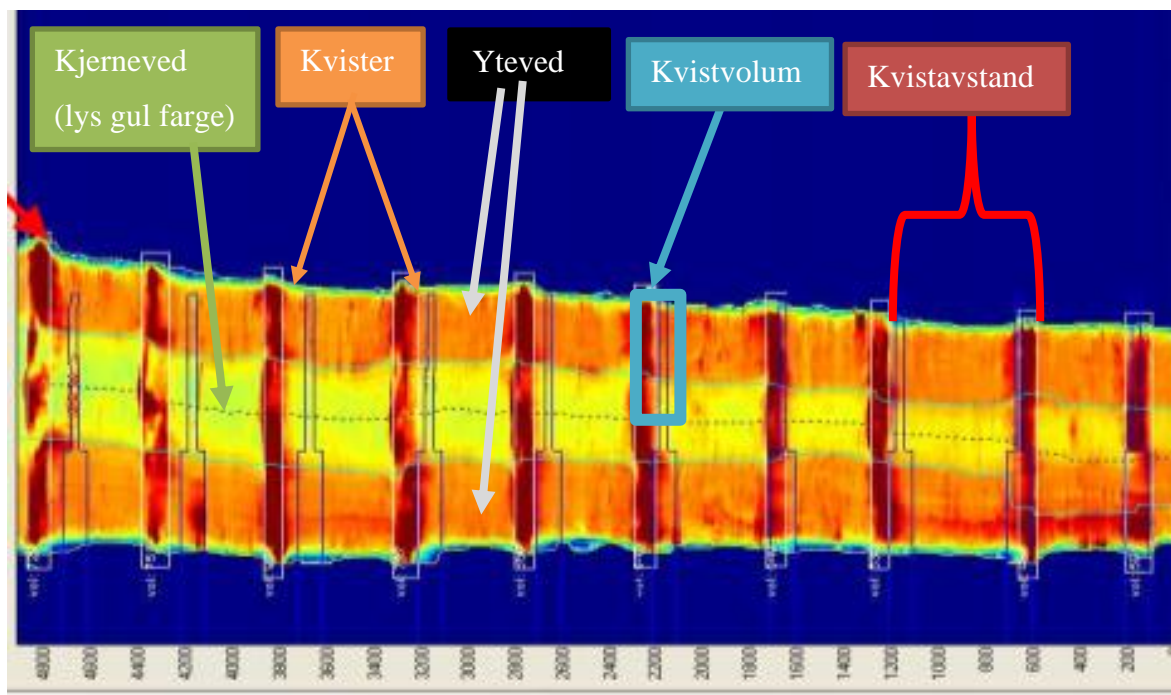


Figur 13: Fiberforløp over en tørr kvist. Det blir lagt stort press på de overgående fibre. Bilde: Treteknisk/Trefokus rapport nr. 43 side 4.

Størrelse (tverrsnitt og volum), fordeling av krefter, samt plasseringen av kvisten på et gjeldende stykke trevirke, er de viktigste faktorene for kvistens svekkende effekt. Kvist har en sterkere effekt på styrken når trestykket utsettes for strekk, enn i trykk. På en limtrebjelke for eksempel, vil kvist være svært kritisk i underkant av bjelken, der den gjerne utsettes for store strekkrefter (Kretschmann og Hernandez, 2006).

**Kvistavstand** betegnes av produsenten av røntgenramma som «gjennomsnittet av avstandene målt mellom enden av en kvistkrans og begynnelsen av den neste», i enhet mm (Barbiero og MiCROTEC, 2015). **Kvistvolum** vil rett og slett si volumet av hele kvistvirvelen, regnet ut av en algoritme i røntgenrammens programvare. Verdien som er aktuell i denne oppgaven, kalt «gjennomsnittlig kvistvolum i kvistkranser», betegnes som et gjennomsnittsvolum av alle kvistkransene som røntgenramma klarer å oppdage. Enheten er satt til  $\text{cm}^3$  (Barbiero og MiCROTEC, 2015).





Figur 14: Fremstilling av ulike parametere på røntgenbilde. Jo mørkere farge, jo høyere densitet.

Underlagsbilde: Microtec brukermanual

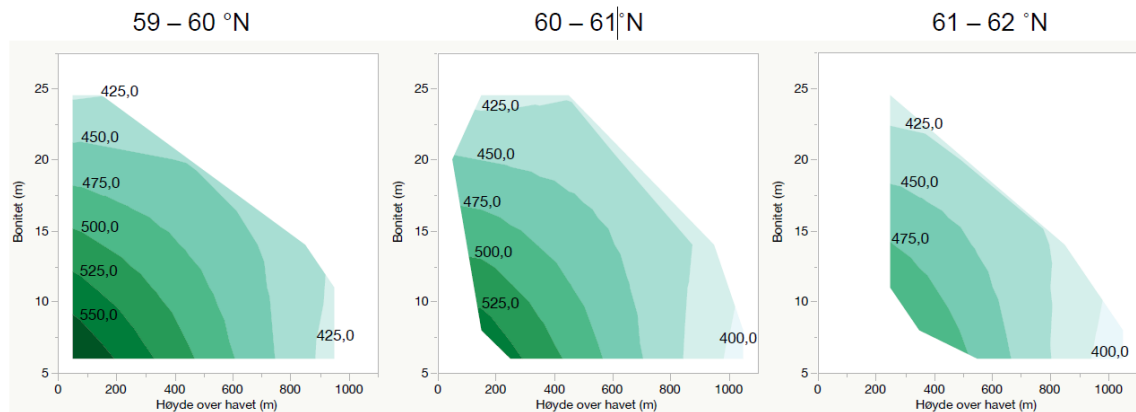
## Årringbredde

Årringbredde er også viktig for trevirkets egenskaper. Årringbredden har direkte innvirkning på densiteten. Dersom det er gode næringsforhold i jorda vil årringbredden være stor, og øke med økende næringsforhold, sammen med god skogskjøtsel. Økningen i årringbredden vil skje i vårveden, og dermed vil densiteten synke grunnet minkende andel sommerved. Altså vil trevirke med stor andel sommerved ha liten årringbredde. Dette fører igjen til at mindre årringbredde gir høyere densitet (Skaug, 2020).

## Geografiske faktorer

Trevirket som blir levert til sagbruket i Våler, kommer som tidligere nevnt hovedsakelig fra Sør-Øst-Norge og midt-Sverige. Moelven Våler AS ligger på følgende koordinater: 60.72 Nord, 11.80 Øst, og rundt 183 meter over havet. Derfor er det ikke urimelig å anta at tømmeret som blir levert, kommer fra en breddegrad rundt 60 grader nord, med et avvik på 2-3 grader. I en presentasjon holdt av Geir Vestøl (professor ved fakultetet for miljøvitenskap og naturforvaltning ved NMBU) på «Skog og Tre»-konferansen datert til 31.05.2018, kan man lese at densiteten i trevirket avtar med økende breddegrad og høyde over havet. En

direkte konsekvens av dette, er at lavere temperatur igjen gir en lavere densitet selv om treet har samme årringbredde. Det blir i andre studier påpekt at densitet har større sammenheng med E-modul, mens kvist har større innflytelse på styrke (Oja, Grundberg og Källsner, 2005).



Figur 15: Densitet sett i forhold til bonitet, høyde over havet og breddegrad. Bilde: Geir Vestøl, presentasjon ved NMBU (31.05.2018), side 6.

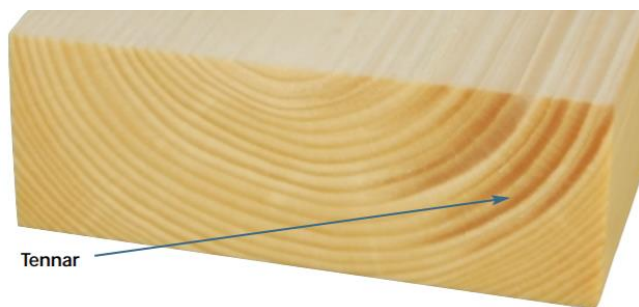
## Avsmaling

Avsmaling er et begrep som uttrykker trestammens form, sammen med rettvekstheth. Den uttrykkes gjerne i cm/m, mens røntgenramma hos Moelven Våler uttrykker avsmaling i mm/m. Avsmaling er i stor grad viktig for sagbruksindustrien. Ved skurlast er det toppdiameteren som er bestemmende for sorteringsklasse. Det vil si at skurutbyttet vil avta med økende avsmaling. I tillegg har styrkeegenskaper vist seg å øke med synkende avsmaling. Som med både densitet, årringbredde og andre faktorer er avsmaling også påvirket av klima og vekstforhold. Formen på trærne blir generelt dårligere med økende høyde over havet. I tillegg er vind en utfordring; svaing i treet fører til økt vevsproduksjon i stammen, noe som igjen medfører større avsmaling enn normalt. Avstand mellom trærne er også bevist å ha betydning. Det ble utført et forsøk i 1944 på dette. Dermed begynner resultatene å bli gamle, og det kan være noe forandringer nå. Likevel ville man nok fått noe av de samme resultatene i dag. Da forsøket ble gjort ble det funnet ut at avsmalingen økte fra 6 mm/m med planteavstand 1,25 m til 16 mm/m med planteavstand 3,50 m (Stemsrud, 1971). Flere studier har blitt gjort på tømmerkvalitet, blant annet (Stemsrud, 1971) og (Norsk Treteknisk Institutt, 1995). Begge disse studiene har funnet at det er en klar sammenheng mellom avsmaling og kvistmengde i tømmeret. I Treteknisk sin rapport (Norsk Treteknisk Institutt, 1995) ble det funnet forholdsvis god sammenheng mellom avsmaling og skurlastkvalitet hos gran

I Norsk institutt for skogforskning (NISK) sin rapport om virkeegenskaper hos konstruksjonsvirke av gran omtaler de gjennomsnittlig avsmaling på de ulike delene av treet. Gjennomsnittlig avsmaling fra rotenden til toppenden er her beregnet til 1,40 cm/m. Midtstokkene er de delene med minst avsmaling, henholdsvis beregnet til 1,27 cm/m i gjennomsnitt. Rotstokken har den største avsmalingen med 1,56 cm/m i gjennomsnitt, mens toppstokken har 1,39 cm/m i gjennomsnittlig avsmaling (Okstad, 1988).

## Tennar

Tennar blir også kalt for «trykkved» eller «reaksjonsved». Tennar oppstår når trær må kompensere for skjev vekststilling, ved å støtte eller rette opp stammen under veksten. Vanligvis blir trykkfastheten svært forsterket, mens strekkfastheten blir tilsvarende svekket. Når slik tennarved blir tørket, oppstår det ofte større deformasjoner. Tennar regnes derfor som regel som en negativ effekt (Trefokus og Treteknisk, 2012).



Figur 16: Typisk tegn på tennar, med økt densitet på én side av planken (mørkt område). Bilde: Trefokus/Treteknisk, rapport 40 side 8.

## Sprekker

Sprekker er i all hovedsak et problem for skjærfastheten til trevirket, da sprekkene stort sett går i treet's lengderetning. En vre kan i sin tur være svært negativt for styrkeegenskapene (Trefokus og Treteknisk, 2012).

## Biologiske skader

Biologiske skader kan være for eksempel råte, som ikke er tillatt i konstruksjonsvirke ettersom råtten tærer på trevirket. Blåved (misfarging) er derimot tillatt, ettersom den ikke påvirker konstruksjonsvirkets viktige bestanddeler. Andre skader, som insektskader eller kvaelommer, er heller ikke ønsket. For eksempel vridning eller vindskjevhet begrenser seg selv, da det vanskeliggjør bruk som konstruksjonsvirke (Trefokus og Treteknisk, 2012) (Standard Norge, 2009).

## Fiberhelling

Fiberhellingen kommer an på trefibrenes retning i forhold til trevirkets lengderetning, hvor parallelt med lengderetningen er  $0^\circ$ . Hellingen blir ofte oppgitt i et forholdstall, der 1:10 er det strengeste visuelle sorteringskravet. Dette vil si at fibrene maksimalt kan helle 1 cm pr. 10 cm i forhold til lengderetning. Fibrene endrer særlig retning på grunn av kvist, men trær har også en naturlig skjevhet i seg, som gir en viss fiberhelling (Trefokus og Treteknisk, 2012).

## 2.6 Styrkesortering

Maskinell styrkesortering har sine krav satt i standarden NS-EN 14081, del 1 til 4. Moelven Våler AS var lenge offisielt sertifisert for styrkesortering av gran og furu med rektangulært tverrsnitt, opp til klasse C30. Dette tilsvarer standard NS-EN 14081-1:2005+A1:2011 («Trekonstruksjoner: Styrkesortert konstruksjonstrevirke med rektangulært tverrsnitt. Del 1: Generelle krav»), samt den nordiske standarden for visuell styrkesortering NS-INSTA 142 (Norsk Treteknisk Institutt, 2020).

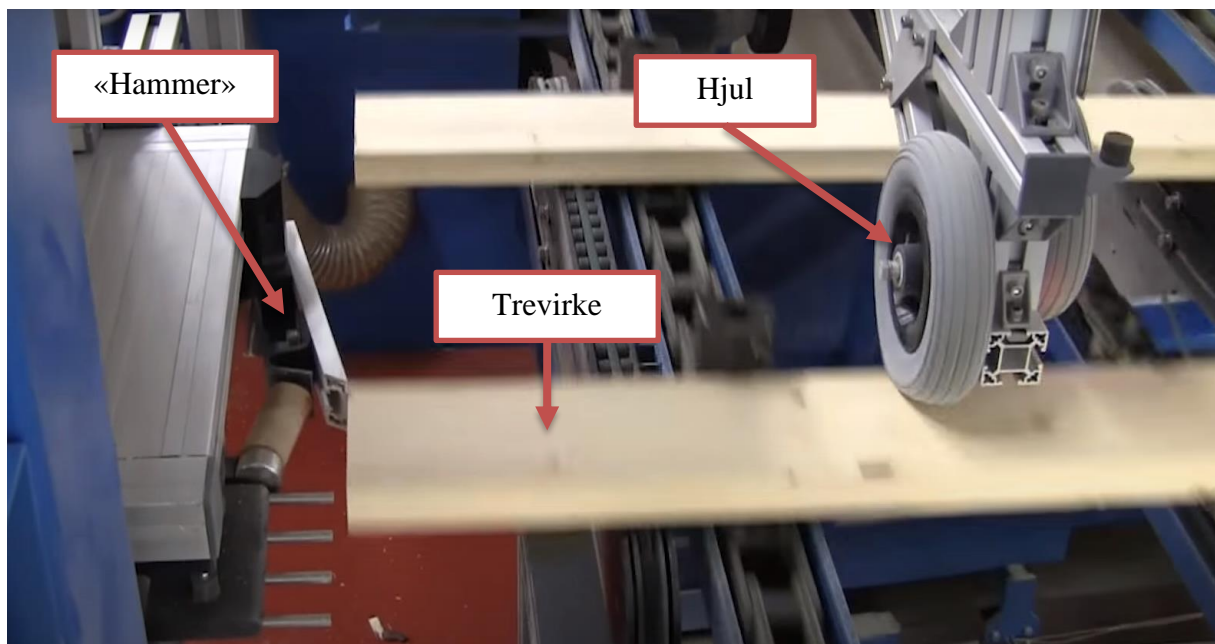
NS-EN 14081:2005+A1:2011 er ikke lengre den nyeste versjonen av standarden, og da denne oppgaven ble skrevet ble det benyttet den nyere versjonen NS-EN 14081:2016+A1:2019. Forskjeller mellom disse to er beskrevet i forordet i den nyeste utgaven. Relatert til oppgaven er disse forskjellene neglisjerbare, grunnet at det i all hovedsak er snakk om endring av formelle definisjoner, brannsikkerhet og endringer i standardens struktur (Standard Norge, 2019).

Moelven Våler AS har en styrkesorteringsprosess som belager seg på *Precigrader*; en styrkesorteringsmaskin som leveres av det svenske selskapet Dynalyse AB (Dynalyse AB, 2020), men for limtre lameller brukes en innstilling som tilsvarende *Dynagrade*. Se kapittel 2.6.1 for nærmere beskrivelse av utstyret.

### 2.6.1 Maskinell styrkesortering

Moelven Våler velger altså å benytte seg av et Dynagrade-program når de tester limtre, og Precigrader når de tester flere øvrige materialer. Precigrader har en kapasitet på opptil 180 lengder pr. minutt, og gjør sine målinger ved hjelp av to fysiske komponenter (Dynalyse AB, 2020); en slags hammer og et hjul. For limtre, på Dynagrade-programmet, benyttes kun denne hammeren.

Hammeren er en fjærbelastet slagmekaniske, som kommer med et slag i tverrsnittssiden av et trestykke. Dette slaget skaper en vibrasjon i trestykket i form av lyd, og denne lyden blir fanget opp av høyteknologiske mikrofoner. På denne måten blir svingningene registrert. I tillegg måles lengden av hver planke. Sammenhengen mellom disse to målingene utgjør en IP-verdi (estimert verdi) for plankens styrke. Dynagrade måler gjennomsnittlig styrke for hele planken og ikke nødvendigvis kun der planken er svakest (Dynalyse AB, 2021).



Figur 17: Bilde fra illustrasjonsvideo av Precigrader. Bildet viser hammeren til venstre, og hjulet til høyre som blir brukt på Precigrader. Bilde: Dynalyse AB (Dynalyse AB, 2020).

NS-EN 14081 fungerer som en håndbok for å vise de grunnleggende prinsippene rundt sorteringen, da det blir vanskelig å utvikle en standard for alle de forskjellige maskinene. Ut ifra rapporter fra maskinene, kan et sorteringssystem bli evaluert og godkjent av CEN (Den europeiske standardiseringsorganisasjonen), og rapportene blir en såkalt AGR (Approved Grading Report) som igjen er nødvendig for at det skal være mulig å få krav om visuell tilleggskontroll fra standarden EN 1912 (Standard Norge, 2019).

## 2.6.2 Visuell tilleggssortering

I tillegg til den maskinelle kontrollen av tømmeret, kommer det en visuell tilleggskontroll for å fange opp eventuelle uregelmessigheter i trevirket. Denne blir gjort både digitalt og manuelt på sagbruket av de ansatte. De ansatte bruker en type kritt for å spesielt fange opp stokker med råte eller vridning, ettersom den øvrige sorteringen ikke alltid klarer å registrere disse faktorene i tilfredsstillende grad. Figur 18 viser en tabell fra NS-EN 14081-1 som viser kravene for visuell tilleggssortering. Kravene for kvaliteter over T11 er merket med oransje.

I henhold til NS-EN 14081-3 skal produsenter av høyere styrkeklasser utføre internkontroll av produsert materiale. Det er satt visse krav til interntesting av konstruksjonsvirke med styrkeklasse høyere enn C30 og limtrelameller med styrkeklasse klasse T22 og høyere – disse er satt av Norsk Treteknisk Institutt i et internt, upublisert skriv til Moelven (datert 11.09.2018). Noen hovedpunkter:

- Planker fra hver produsert styrkeklasse plukkes tilfeldig ut fra hver produksjonsdag.
- Bøyestyrken testes på høykant eller på flatsiden for disse to 2 plankene, dersom det er konstruksjonsvirke, og på flatsiden dersom det er limtrelameller.
- Limtrelameller kan alternativt testes ved strekktest.
- Plankens antatt svakeste punkt plasseres innenfor den midtre tredjedel av spennvidden, dersom det er mulig. Oppside og nedside av testplanken velges tilfeldig.
- Etter hvert som internkontrollen utføres og testresultater opparbeides, må bedriften dokumentere at produsert materiale oppfyller styrkekravet.
- 5% fraktilverdi av de 100 siste testplankene finnes ved rangering.

**Table 1 — Visual override inspection requirements for machine strength graded structural timber**

Strength class according to EN 338 <sup>a</sup>		C18, D18, T11 and below	Above C18, D18, T11
Max. length of fissures <sup>b</sup>	Fissures not going through the thickness	Fissures less than half the thickness may be ignored <sup>f</sup>	
		Not greater than 1,5 m or 1/2 the length of the piece, whichever is the lesser	Not greater than 1 m or 1/4 the length of the piece, whichever is the lesser
	Fissures going through the thickness	Not greater than 1 m or 1/4 the length of the piece, whichever is the lesser. If at the ends, a length not greater than two times the width of the piece	Only permitted at the ends with a length not greater than the width of the piece
Max. warp <sup>c</sup> in mm over 2 m of length	Bow	20 mm	10 mm
	Spring	12 mm	8 mm
	Twist	2 mm/25 mm width	2 mm/25 mm width
	Cup	Unrestricted	Unrestricted
Wane		Wane shall not be greater than one third of the full edge and/or face dimensions of the piece	
Soft rot and dote <sup>d</sup> (see EN 844-10)		Soft rot shall not be permitted Dote is permitted	Soft rot shall not be permitted Dote shall not be permitted
Insect damage		Active infestation shall not be permitted. Insect holes above 2 mm diameter shall not be permitted. Smaller holes shall be assessed as other defects	
Other defects <sup>e</sup>		Where the reduction in strength caused by another defect is obviously less than caused by defects permitted by this table, the piece may be accepted provided the defect is of a type that will not increase after conversion and drying	

<sup>a</sup> For alternative strength classes, visual overrides are checked with corresponding strength value limits

<sup>b</sup> The length of fissures is linked with moisture content and therefore the limits given apply only at the time of grading. Permitted limits for both the depth and length of fissures refer to the sum of fissures in one plane in a piece of timber.

<sup>c</sup> Warp is influenced by moisture content, so the limits apply only at the time of grading. Longitudinal curvature in square section pieces may be assessed using the limits for bow.

<sup>d</sup> Stain is not a structural defect and is acceptable without limitation.

<sup>e</sup> Other defects include for example mechanical damage, top rupture, and included bark.

<sup>f</sup> A 0,2 mm feeler gauge is a suitable device for measuring fissure depth.

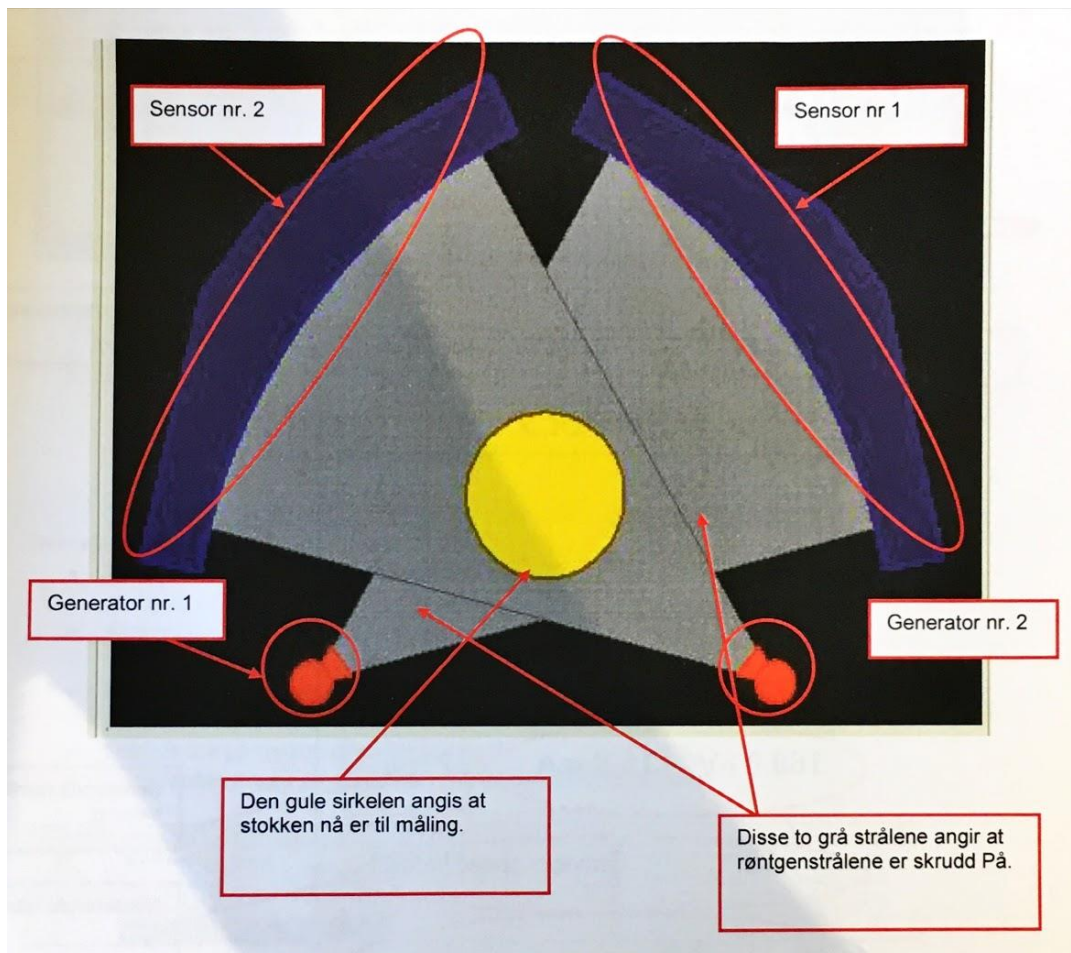
Figur 18: Tabell 1 hentet fra side 10 i NS-EN 14081-1:2016+A1:2019 (Standard Norge, 2019). Aktuelle krav skravert i oransje

## 2.7 Microtec – røntgensortering

Røntgensortering er selve kjernen i denne avhandlingen, og er det første leddet i sorteringsprosessen. Maskinen som brukes hos Moelven Våler, er levert av Microtec. Den første bruksanvisningen som ble benyttet, var på en blanding mellom engelsk og tysk og oversettelsen kunne derfor sprike noe fra hovedintensjonen. Noe senere fikk en derimot tilgang på en norsk oversettelse av bruksanvisningen, som var bedre.



En røntgenskanner fungerer i korte trekk ved at røntgenfotoner blir sendt gjennom et legeme, og registrert av en sensor. Dette blir repetert fra flere retninger, og ved hjelp av digital bildekonstruering, CT (Computerized Tomography), får man ut et bilde av legemet innside. For å få finne defekter i tømmerstokker er det behov for 2 eller flere skannere som jobber sammen (Brännström, 2005).



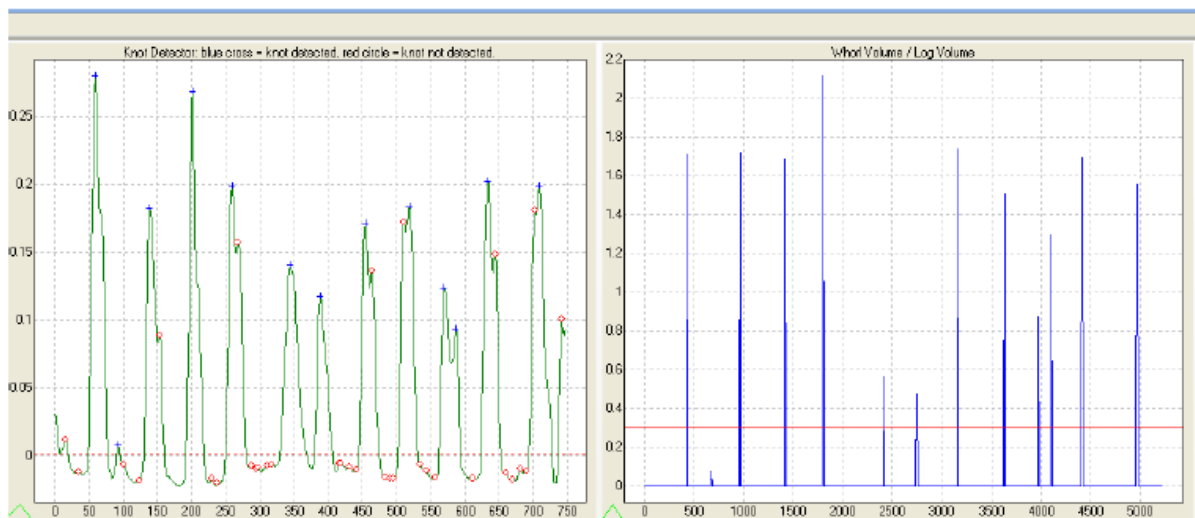
Figur 19: Fremstilling av hvordan røntgenbildene blir fremstilt. Bilde: Microtec bruksanvisning, side 22.

Utdata fra røntgenramma, samles i et regneark, der man får oversikt over de forskjellige stokkenes kvaliteter. Verdiene (enhet i parentes) som Moelven Våler får ut, omfatter blant annet: treslag, tømmervolum ( $\text{dm}^3$ ), sorteringsdiameter (både ved topp og ende, mm), barktykkelse (mm), lengde på stokk (mm), krok, pilhøyde, kvistavstand (mm), antall kvistkranser, kvistdiameter (mm), kvistvolum ( $\text{cm}^3$ ), kjerneved (diameter og volum), gjennomsnittlig densitet i kjerneved ( $\text{kg/m}^3$ ), åringbredde (mm), toppbrudd, fremmede objekter i stokk (metaller etc.) og prosentandel med kvistfri lengde (%).



Røntgen kan ganske enkelt gi et nøyaktig bilde på densitet i en tømmerstokk, og de fleste faktorene som kan leses av i bildene har alle en sammenheng med uregelmessigheter i densiteten (Brännström, 2009). For å få et innblikk i hvordan enkelte faktorer analyseres og fremstilles grafisk av maskinvaren, følger en utdypning av enkelte parametere under (hentet fra brukermanualen) (Barbiero og MiCROTEC, 2015):

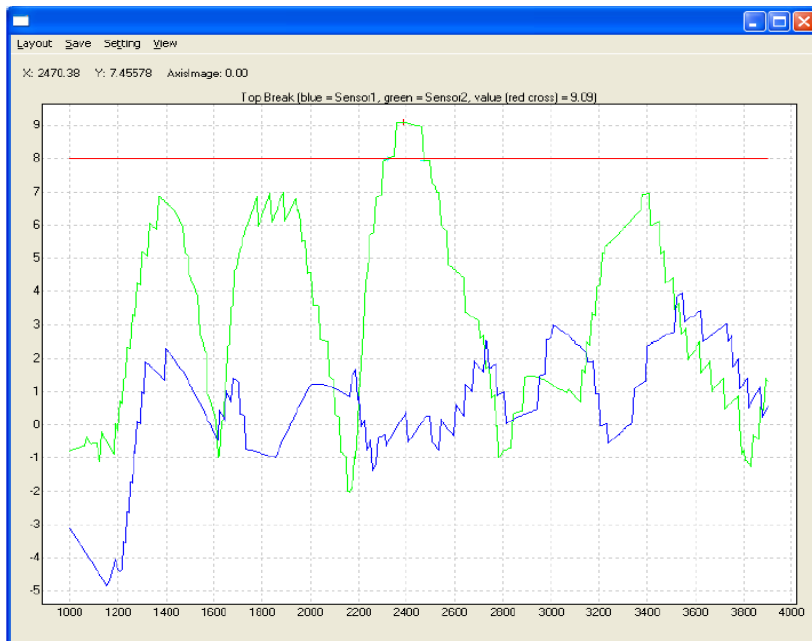
- **Kvistdetektor:** Her kan volumet av hver kvistvirvel estimeres. Enten totalt, eller et relativt volum, brukes der rotvolumet deles på størrelsen av den delen av trestokken hvor roten befinner seg. På figur 20 vises densiteten på den grønne grafen, der toppunktene er mulige kvister. De røde sirklene representerer lokale maksima (toppunkt på grafen) som ikke er kvist, mens de blå kryssene viser lokale maksima som derimot er kvist. Ved å øke innstillingen for grenseverdi, er det vanskeligere for et maksima å defineres som en kvist. Dette vil si at små kvist eller kvist i umiddelbar nærhet til større kvist, blir utelatt.



Figur 20: Eksempel på graf fra registrering av kvist. Bilde: Microtec bruksanvisning, side 37.

- **Toppbrudd:** Dette er en innstilling for å avdekke toppbrudd i stokken. Figur 21 viser en analyse av forekomsten av kjerneved og marg i en trestokk. Dersom det ikke er brudd i kjerneved/marg, har grafen en lav verdi. Motsatt dersom grafen passerer grenseverdien. Det kan også brukes en innstilling for å ekskludere deler av stokken, dersom det er stor forskjell mellom øvre og nedre del. Hvis verdien for eksempel blir satt til 1000, betyr dette at den første og siste meteren av stokken blir ignorert i toppbruddanalysen. Muligheten for en troverdig analyse av toppbrudd har riktignok

blitt sett på med et kritisk blikk av Audun Øvrum i etterkant, under et videomøte med forfatterne av denne oppgaven den 04.03.2021.



Figur 21: Eksempel på analyse av toppbrudd. Bilde: Microtec, side 39.

- **Råte:** Ganske store forekomster av lavdensitets råte må til for at det skal bli plukket opp i skanningen. En får opp en graf som viser høye verdier dersom densiteten for gjeldende område er mye lavere enn gjennomsnittet i stokken. En grenseverdi kan settes slik at råte blir oppdaget dersom grafen overstiger denne verdien. Denne grenseverdien er en sum av grenseverdi for råte og en annen grenseverdi satt av en funksjon basert på densiteten til den gjeldende stokken. Det kan også stilles inn en minsteverdi for at grafen i det hele tatt skal i utslag på råte.

### 3 Case og materialer

Bakgrunnen for denne oppgaven kom som et ønske fra Moelven Våler AS, om å utnytte deres røntgenramme på en bedre måte. Spesielt siden de, på tidspunktet oppgaven ble skrevet, var det eneste sagbruket i Norge med en slik innretning. I tillegg oppsto det en interesse for å kunne selge trevirke av høyere kvalitet enn hva de tidligere hadde mulighet til. Det vil si en forbedring fra styrkeklasse T22 til T26. Dette ønsket ble også støttet av Moelven Limtre, som gjerne ville utnytte den økte styrkeklassen til prosjekter som kanskje krever høyere styrke med tanke på arkitektoniske utforminger, eller generelt krav til økt fasthet.

Altså skal det ses på hvilke parametere som er med å bestemme styrkeegenskapene til tømmeret, og dermed også innstillingene som kan brukes på sagbrukets røntgenramme. Som et tilleggssvar vil forhåpentligvis også svaret på problemstillingen gi et tall på hvor stor andel av tømmeret hos Moelven Våler, som har fasthetsegenskaper tilsvarende klasse T26.

Muligens passer også andelen til tidligere utviklede modeller, som i Tresterk-prosjektet.

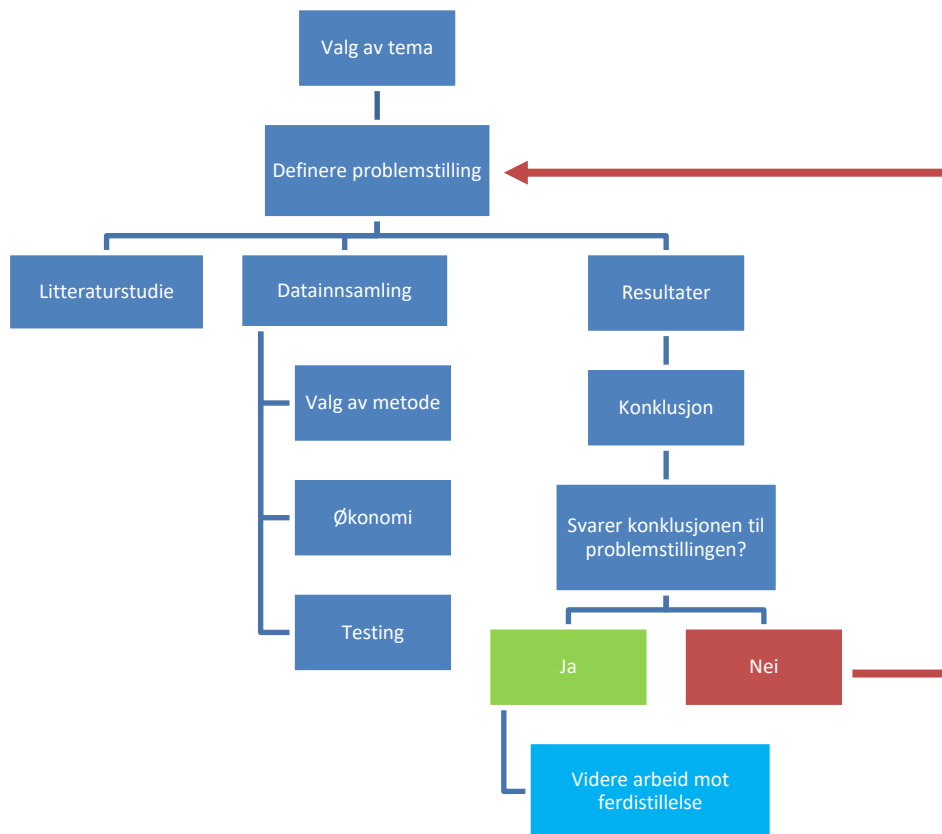
Under følger en oversikt over benyttet materiale i forbindelse med avhandlingen:

- **Tilgang på tømmer:** en selvfølgelighet for utførelse av oppgaven. Det ble benyttet 3927 stokker ved forsortering, der 537 stokker var av egnet kvalitet til videre innhenting av data til resultatdelen av oppgaven. Merking av tømmeret ble gjort for å unngå innblanding i annen last.
- **Microtec røntgenramme:** skanner hver enkelt stakk for tidlig grovsortering. Egenskaper og parametere for røntgenramma er utdypet i teoridelen.
- **Testutstyr:** Precigrader sorteringsanlegg med Dynagrade-program, som tester ferdig tørket og saget trevirke. Gir nødvendig data for analysen (styrkeegenskaper), samt utstyr til 4-punktstesting hos NTNU.
- **Litteratur:** tilgang til gratis lesing av standarder hos standard.no, gjennom konto hos NTNU, samt tilgang på produksjonsrapporter og annen forskning.

Økonomisk gevinst er sannsynlig for både Moelven Våler og Moelven Limtre dersom det lykkes å sette i gang en effektiv produksjon av høykvalitets tømmer, noe som vil gi et fortrinn sammenlignet med andre bedrifter. Dette er selvfølgelig en av grunnene til interessen rundt oppgaven.

# 4 Metode

Figur 22 viser en fremstilling av hvordan arbeidsprosessen med denne bacheloroppgaven har vært fra begynnelsen, og på veien mot ferdig sluttprodukt.



Figur 22: Skjematisk fremstilling av arbeidsprosess, fra start (topp), til slutt (bunn).

## 4.1 Valg av tema og problemstilling

Som nevnt innledningsvis, ble Moelven Våler tidlig koblet på som samarbeidspartner for denne bacheloroppgaven, og røntgensortering ble raskt et aktuelt tema. Etter at temaet grovt sett var i boks, ble det forsøkt å snekre sammen en midlertidig problemstilling for å ha et sted å begynne med forberedelsene til teoridelen av oppgaven. Det var sannsynlig at denne problemstillingen skulle endre ordlyd etter hvert. Kontaktpersoner i bedriften ble tildelt, men

riktignok endret underveis, og hit kunne spørsmål om drift og tekniske tema rettes til. Jan Steinar Egenes ble tidlig koblet på prosjektet som NTNUs veileder for prosjektet.

For å få en bedre oversikt over hvordan tømmerproduksjon faktisk fungerer, ble forfatterne invitert til Moelven Våler på Braskereidfoss, for en omvisning og en samtale om oppgaven. Noe i etterkant ble det også arrangert møte med Moelven Limtre for å høre deres standpunkt, da problemstillinga i utgangspunktet var tenkt å handle om bruk av røntgenramme til produksjon av limtre lameller. Moelven Limtre ble også koblet inn for å se om det utbyttet som kom frem fra røntgenramma, faktisk er av interesse på markedet.

## 4.2 Litteraturstudie

Den første litteraturstudien som ble gjort, var av en brukerveiledning på Microtecs røntgenramme, som ble oversendt på e-post etter besøket på Braskereidfoss. Til tross for noe brokete engelsk, beskriver den hvilke faktorer den baserer seg på, slik at det var mulig å finne aktuelle norske og europeiske standarder som støttelitteratur. Spesielt standard NS-14080 og NS-14081 (del 1-4) ble fremhevet både hos Moelven Våler og Moelven Limtre, slik at disse ble et naturlig startsted for teoridelen. Disse standardene har senere blitt en sentral brikke i oppgaven.

Selv om temaet rundt styrkesortering av trevirke ikke var helt ukjent fra tidligere, har det vært nødvendig med en grundig litteraturstudie. Dette gjaldt spesielt for produksjonsprosesser og styrkesortering i praksis. De norske standardene sitter på mye informasjon, men for å se hvordan disse har blitt brukt i praksis i lignende prosjekter, måtte det også andre faglige artikler til. Via databasen Oria (gjennom NTNU) og Google-søk med relevante stikkord (eksempelvis: «*sortering T26*», «*prediction of timber strength*», «*strength grading X-ray*»), var det særlig noen prosjekter som utpekte seg som interessante. Deriblant «Tresterk»-prosjektet fra Treteknisk, et par ph.d.-avhandlinger og andre forskningsrapporter som er utdypet i både teoridelen, og videre i metodekapittelet. Det ble etablert kontakt med noen av forfatterne av oppgavene for å høre om de kunne hjelpe til med visse hindre en møtte på underveis, blant annet med hjelp fra veileder som har kontakter i miljøet.

For å holde styr på alle notater og tanker om benyttet litteratur, ble det tidlig laget et eget rom i Microsoft Teams, der begge studenter og veileder fikk tilgang til alle filer via skylagring. Dette tillot også at det kunne jobbes samtidig i dokumentene, mens videokonferanse ble brukt dersom fysisk oppmøte ikke var mulig. Filene i Teams ble forsøkt organisert i en oversiktlig mappestruktur.

## 4.3 Datainnsamling

### 4.3.1 Metodetype

Det ble i all hovedsak benyttet 2 forskjellige kvantitative metoder for å komme frem til resultatene i denne oppgaven:

- **«Stor batch»-analyse:** Datainnsamlingen som ble gjort i forkant av testing, med data fra flere tusen tømmerstokker, i tillegg til litteraturstudien, kan sies å være en kvantitativ metode, i likhet med andre statistiske analyser. Dette kan kalles for en «stor batch»-analyse, som går ut på at man bruker store mengder data til å simulere et potensielt uttak. Denne «stor batch»-analysen ble ekstremt viktig for å kunne velge ut parametere og simulere utbyttet av T26.
- **Parameteranalyse:** Her ses det kun på ett og ett parameter, og ser videre på hvordan dette vil påvirke kvaliteten ved endelig maskinsortering. Det blir sortert ut et ønsket antall teststykker pr. valgte parameter som vil bli lagt til side og kjørt som en egen serie, slik at man til slutt kan avgjøre hvorvidt parameteren gir ønsket kvalitet. Dette gjør det også enklere å sette parametere opp mot hverandre.

Ved siden disse analysene er det holdt møter og veiledningssamtaler som i stor grad gir oppgaven erfaringsbasert innhold, gjennom for eksempel. e-postutvekslinger og Teams-møter. Dette kan betegnes som en kvalitativ metode. Oppgavens problemstilling er et sted midt imellom kvalitativ og kvantitativ metode, da den blir presisert og endret underveis, noe som ikke er uvanlig for kvalitative forskningsopplegg. Samtidig har den en ganske presis formulering og inneholder få variabler, men mange teststykker, noe som er vanlig i

kvantitativt forskning (Andersen, 2019). Oppgavens innhold i seg selv kan nok også i stor grad kvalifiserer til en komparativstudie, ettersom gamle sorteringsprosesser blir satt opp mot nye i resultatdelen.

Ved alle møter, enten fysisk eller via videokonferanse, har det blitt ført møtereferat som er samlet sammen i en mappe i Teams. Her er det ført dato, personer til stede på møtet, innhold og andre tanker forfatterne har gjort seg rundt temaene som har blitt tatt opp underveis. Disse referatene er noe det har blitt sett mye tilbake på, da det er vanskelig å huske alt som blir sagt over mange møter.

### 4.3.2 Økonomi

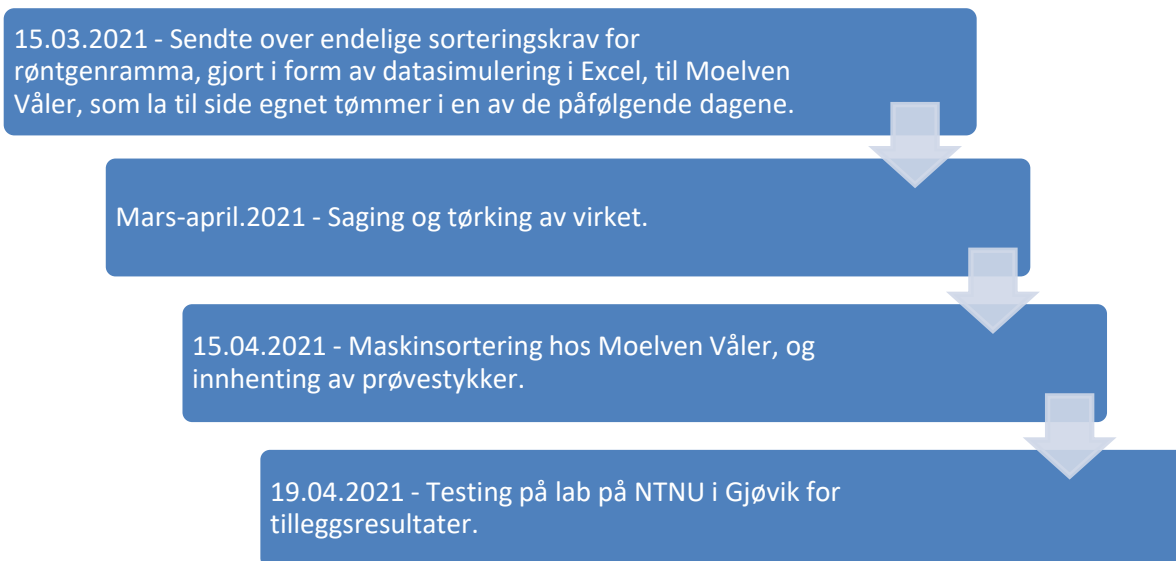
Store mengder av innsamlet data kommer fra allerede-eksisterende litteratur, men for å kunne sette antagelser og tidligere funn ut i praksis, er det nødvendig å kunne sortere ut et eget parti med tømmerstokker. Denne må kunne følges gjennom prosessen på sagbruket på en slik måte at relevant data kan innhentes underveis/i etterkant. Dette byr på lave økonomiske kostnader, da stokkene uansett skal bli brukt på et eller annet tidspunkt. Sånn sett er det hovedsakelig nødvendig med en økt bevissthet rundt logistikken, og sette av egen tid til å følge disse stokkene gjennom maskinsorteringen.

### 4.3.3 Testing

Hvorvidt det skulle utføres testing av ferdigbehandlet trevirke (ferdig tørket og saget), var lenge et usikkerhetsmoment da det ikke var sikkert om omfanget av oppgaven ville bli for stort og om testing i stort kvanta ville la seg gjøre. De første resultatene det var mulig å få utbytte av, kom med tilgangen til et Excel-ark med data fra over 2000 tømmerstokker. En gradvis større og større andel data fra Moelven Våler ble tilgjengelig. De første Excel-arkene ga gode, dog noe usikre indikasjoner, men det var først da data fra rundt 270 000 tømmerstokker ble tilgjengelig, at de gode analysene kunne gjøres. Av disse 270 000 stokkene, var omtrent 6500 innenfor klasse G10 (sorteringsdiameter 194-199 mm). Disse ga en indikasjon på hva slags materiale en hadde å gjøre med, og ved å gjøre sorteringer i dataarket, var det mulig å gjøre visse antagelser. En forutsetning for at disse dataene kunne være tilfredsstillende som endelig resultat, var at det også fantes data fra tørrsorteringen

(maskinsortering) som kunne spores tilbake til røntgensorteringen. Dette fantes ikke på daværende tidspunkt, slik at testing likevel ble aktuelt.

I samarbeid med Hans Marius Skjærstad hos Moelven Våler og Audun Øvrum fra Treteknisk ble det enighet om testprosedyre, noe som er nærmere beskrevet i eget underkapittel. Ett av hovedmomentene rundt testinga, har vært hvilke faktorer det skal sorteres ut ifra og hvordan en skal kjøre testseriene for å oppnå best mulig reliabilitet på resultatene. Opprinnelig var det ønskelig å kunne individspore stokkene gjennom hele sorteringsprosessen, altså se på én og én plank og spore denne tilbake til den opprinnelige tømmerstokken. Dette ville gitt presise resultater, men kreve mye jobb. Dette viste seg dessverre å ikke være mulig, slik at det heller ble valgt ut tre parametere som det kunne sorteres ut ifra, for deretter å merke disse stokkene ut ifra hvilken parameter de er sortert etter, og til slutt følge de gjennom sorteringen. Da ble data tilgjengeliggjort på hvor stor andel T26 det er mulig å få ut for de ulike sorteringspartiene. Det var også et ønske å teste trestykkene i en bøye-/strekkmaskin for å undersøke bruddverdier.



Figur 23: Skjematisk fremstilling av innhenting av data til resultatdelen av oppgaven.

## 4.4 Valg av variabler

For å finne aktuelle variabler, ble det bestemt å ta kontakt med fagmiljøet, gjennom kontakter hos Moelven Våler, Moelven Limtre og Treteknisk Institutt. Grunnen til at det ble tatt kontakt



med fagpersoner, kom også av at det var vanskelig å finne tilfredsstillende og samstemte krav i forskning, standarder og annen litteratur. Det ble, sammen med Audun Øvrum (administrerende direktør hos Norsk Treteknisk Institutt) under et videomøte med forfatterne den 04.03.2021, valgt ut en parametersammensetning bestående av følgende faktorer (enhet i klammeparentes):

- **Gjennomsnittlig densitet i kjerneved [kg/m<sup>3</sup>]**
- **Gjennomsnittlig kvistavstand [mm]**
- **Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler [cm<sup>3</sup>]**

Øvrum har jobbet lenge som forsker hos Treteknisk, og har både hovedfag i Treteknologi, i tillegg til en doktorgrad (Treteknisk, 2021). Han kan derfor anses som en god referanse når det kommer til valg av de overnevnte faktorene. Densitet ble ganske tidlig en aktuell faktor, men årringbredde var lenge et antatt sterkere kort for å måle densitet med røntgenramme.

Kvist er av særlig betydning for styrkeegenskapene (Kretschmann og Hernandez, 2006), og det er derfor lagt vekt på dette i oppgaven. For å begrunne valgene som er gjort med tanke på parametere, er det forsøkt å forankre disse etter beste evne i litteraturen. I kapittel 4.4.1, 4.4.2 og 4.4.3 følger en utdypning av faktorene.

I forbindelse med oppgaven har forfatterne fått tilsendt laboratorierapporten som ble utført av Treteknisk Institutt, der de så på løpende produksjonskontroll av kvalitet C40 hos Moelven Våler datert tilbake til 19.04.2016. Dette er tilsendt av kontaktpersonen hos oppdragsgiver Moelven Våler, Hans Marius Skjærstad, og regnes som personlig kommunikasjon.

Dette er de oppnådde resultatene, korrigert i henhold til NS 384:

	<b>Oppnådd</b>	<b>Krav</b>	<b>Resultat</b>
<b>Midlere lokal E-modul</b> (gjennomsnittlig verdi)	16 584	13 300	OK
<b>Bøyefasthet</b> (karakteristisk verdi)	52,4	40,0	OK
<b>Densitet</b> (karakteristisk verdi)	496	420	OK

Figur 24: Verdier for E-modul, bøyefasthet og densitet. Bilde: Treteknisk Institutt/Moelven Våler (privat dokument).

Som man kan se, er fasthetskravene godt over de aktuelle kravene for C40, slik at det er grunn til å tro at kvalitet T26 også er mulig å oppnå.

#### 4.4.1 Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler

I et forsøk gjort av balt annet Johan Oja, ble det brukt en sammenligning mellom gjennomsnitt/standardavvik og fasthetsverdiene E-modul og bøyefasthet (Oja, Grundberg og Källsner, 2005). Etter å ha sortert i Excel-arket ut ifra aktuell sorteringsdiameter (194-199 mm), sitter man igjen med et gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler på rundt 230 cm<sup>3</sup>, og et standardavvik på 90 cm<sup>3</sup>. Ved å se på gjennomsnittet minus standardavviket, sitter man igjen med en verdi på rundt 140 cm<sup>3</sup>. Kravene er da lagt på et nivå som er strengere enn å kun se på midlere verdi, men samtidig høyt nok til å forhåpentligvis få med et representativt utvalg stokker. Den simulerte andelen blir noe lav, men antall stokker skal være tilfredsstillende for testing.

#### 4.4.2 Gjennomsnittlig kvistavstand

Her benyttes samme tankegang som for kvistvolum, bare at standardavviket blir *lagt til* gjennomsnittet, og gjør dermed kravet strengere. Den simulerte andelen stokker blir tilstrekkelig stort for videre testing, med 14,73 %. Sorteringskravet ender da på 195 mm.

#### 4.4.3 Gjennomsnittlig densitet i kjerneved

I Tresterk ble det gjort en analyse av bestandseffekter i styrkesortering. Dette viste at både styrkesortering basert på resonansfrekvens (Dynagrade) og styrkesortering basert på dynamisk E-modul (Precigrader) er effektive metoder, og at disse har sammenheng med høyde over havet, breddegrad og bonitet i trevirket. Resultatene fra forskningen viste at densitet forklarer bestandseffektene til alle de undersøkte egenskapene i trevirket, og at dette kan brukes som en indikasjonsverdi, i tillegg til resonans. Densitetsmålinger kan gjennomføres på en nokså enkel måte på et sagbruks sorteringsanlegg. Simuleringer gjort i Tresterk, viste at kravene til virkesegenskaper kan oppfylles med et større utbytte dersom sorteringen er basert på en slik kombinasjon av E-modul og resonans, fremfor bare resonansfrekvens. I snitt kom de frem til et utbytte på 23,6 % med kvalitet C40 ved bruk av

Precigrader – men variasjonen var stort ettersom hvor trevirket hadde sin opprinnelse (se figur 25) (Flæte, 2016).

Bestand	N	Utbytte (%)		
		C40	C24	R
Begnadalen	67	23.2	76.8	0
Etnedal	52	1.4	70.5	28.1
Frosta	89	41.8	58.2	0
Stange	49	21.3	78.7	0
Toten	129	60.1	39.9	0
Tretten	115	3.2	96.8	0
Trondheim	119	4.6	88.6	4.2
Ulsberg	82	17.6	81.0	1.4
<b>Totalt</b>	<b>702</b>	<b>23.6</b>	<b>73.0</b>	<b>3.4</b>

Figur 25: Oversikt over utbytte av C40 og C24 sett i sammenheng med hvor bestanden er hentet ut. Bilde: hentet fra presentasjon om Tresterk-prosjektet, «Trelast med høyere styrke og stivhet» (9.02.2016), side 9.

## Tørrdensitet

Densitet i ferskt tømmer hjelper likevel lite i denne oppgaven, når det tross alt skal tas for seg forsortering med røntgenramme. Tømmeret som blir levert på sagbruket vil ha en annen densitet etter at det har blitt saget og tørket – dette gjelder spesielt for yteveden, som ofte har et høyt vanninnhold (Trefokus og Treteknisk, 2007). Derfor er densitet en noe vrien faktor å se på når det skal brukes som parameter i røntgensorteringen. Ettersom densiteten er en svært viktig indikator for styrkeegenskapene, er det fortsatt ønskelig å kunne bruke dette. I 2005, avla Mattias Brännström en mastergrad der han så på sammenhengen mellom tørrdensiteten i kjerneved og ulike parametere for nordisk, ubehandlet gran. Spesielt «rå» densitet i kjerneved, samt årringbredde i kjerneved, avstand fra rot og delvis andelen kjerneved i stokken, viste seg å være viktige faktorer (Brännström, 2005). I den samme artikkelen henvises det til NS 384, som ga nokså like resultater som Brännströms modeller.

En av de foreslåtte modellene i rapporten, gir følgende likning (Brännström, 2005):

$$\rho_{0,0} = 2450 - 50 * \sqrt{\frac{2401 + 2401 * u - 2 * \rho_{u,u}}{1 + u}}$$

Formel 1: Modell for utregning av tørr densitet i kjerneved. Hentet fra Brännströms masteroppgave «Establishing a Model for the Dry Density og Heartwood of Norway Spruce by Parameters Industrially Measurable on Green Logs», side 22, likning 6.

Mens NS 384 gir denne:

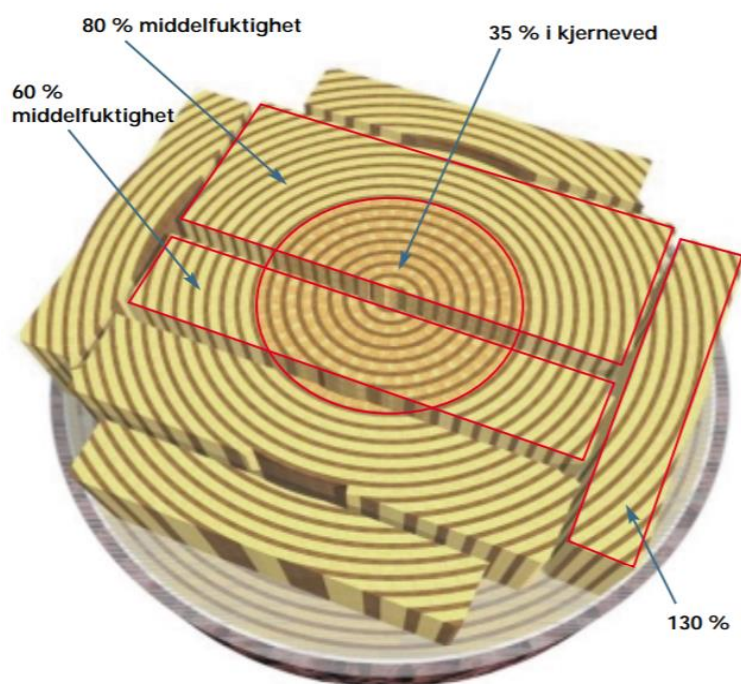
$$\rho_{corr} = \left(1 + (0,005 * (12 - u))\right) * \rho_u$$

Formel 2: Modell fra NS 384 for utregning av tørr densitet (forenklet versjon), side 14

Hvor,

- $\rho_{0,0}$  og  $\rho_{corr}$  er den kalkulererte densiteten for tørt virke
- $u$  er antatt fuktighet, som trygt kan settes til **40 %** for kjerneved ifølge studien og rapporter fra Trefokus (Trefokus og Trefokus, 2007).
- $\rho_{u,u}$  og  $\rho_u$  er densitet for utørket virke

Ved å løse disse likningene for å tilfredsstille kravene til T26 ( $410 \text{ kg/m}^3$ ), får man et antatt krav på omtrent **515 kg/m<sup>3</sup>** for Brännströms forslag, og **476 kg/m<sup>3</sup>** for NS 384. For å få med nok antall stokker, ble kravene lagt litt under, men fortsatt tett oppunder, det laveste kravet – og ender opp på **466 kg/m<sup>3</sup>**. Dette tilsvarer gjennomsnitt + standardavvik fra Excel-dataene, og det ender på en simulert andel på 15,02 % utbytte av totalt antall stokker i klasse G10.



Figur 26: Fordeling av fuktinnhold i nyskåret trelast. Bilde: hentet fra Trefokus/Trefokus, rapport nr. 40 side 7.

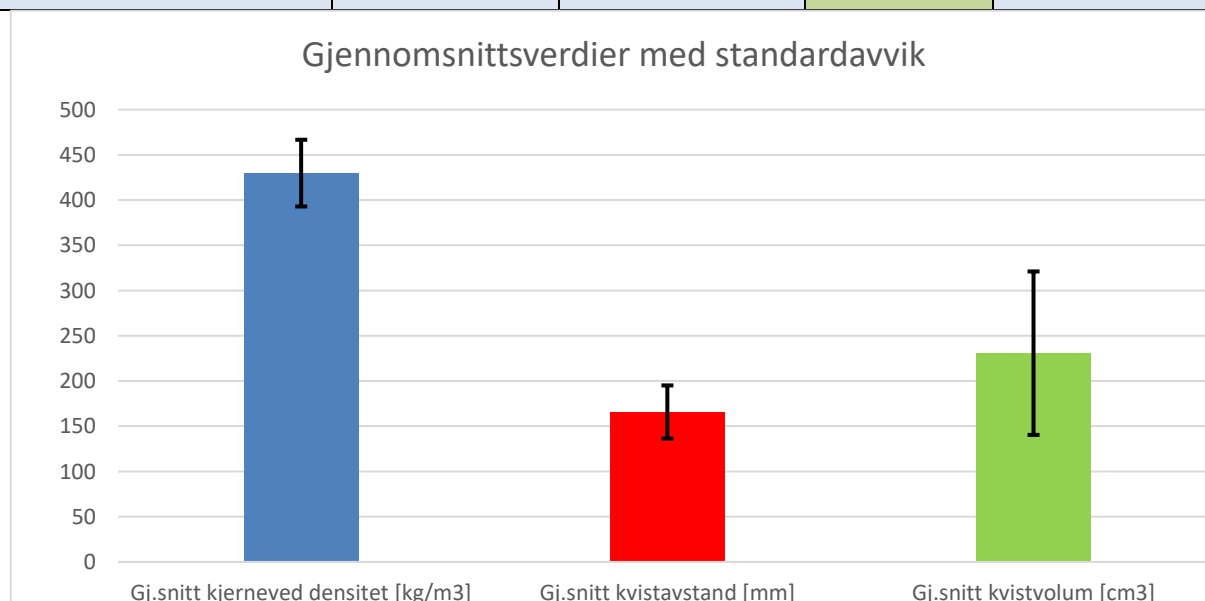
#### 4.4.4 Sammendrag

Tabell 3 inneholder en oversikt over beregnede verdier for sorteringskravene. I tillegg er det, helt til høyre, en kolonne med utbytte i prosent. Disse verdiene er der for å simulere hvor mye tømmer som kan tas ut dersom en sorterer på de forskjellige kravene. Dette er gjort for å se om kravene er satt for høyt eller for lavt, men regnes ikke som resultat. Klasse G10 har for øvrig en total andel på omtrent 4 % av all gran som blir sendt gjennom mottaket på sagbruket.

Tabell 3:

Tabell over simulerte verdier i Excel

	Gjennomsnitt	Standardavvik	Gj.snitt +/- std.avvik	Utbytte i % (av tot. G10)
<b>Gj.snitt kjerneved densitet [kg/m<sup>3</sup>]</b>	429,80	36,87	466,67	15,02
<b>Gj.snitt kvistavstand [mm]</b>	165,75	29,35	195,10	14,73
<b>Gj.snitt kvistvolum [cm<sup>3</sup>]</b>	230,73	90,34	140,39	10,81



Figur 27: Fremstilling av verdiene for de 6537 stokkene i klasse G10. De svarte stolpene utgjør standardavviket





*Figur 28: Bilder av prøvestokker, markert i ulike farger for å skille de fra resterende last på sagbruket. Bilder: Moelven Våler v/ Bjørn Grønås*

## 4.5 Testprosedyre

En kombinasjon av både røntgen og maskinsortering gir en vesentlig mer nøyaktig fremstilling av styrkeegenskaper, enn om de skulle blitt brukt hver for seg (Oja, Grundberg og Källsner, 2005). Når det i tillegg tas med en bøyetest på laben ved NTNU i Gjøvik, blir det regnet med at usikkerheten blir enda lavere.

I forkant av testing, var forfatterne på besøk på laben ved NTNU for å ta mål og gjøre andre forberedelser for å gjøre selve testdagen så effektiv som mulig.

### Testprosedyre:

- 1. Grovsortering:** Sortering gjennom valg av krav for ulike parametere i røntgenrammen. Utvalgene med de forskjellige parameterne blir merket og lagt i egne partier slik at dette ikke blandes med annen last.
- 2. Saging og tørke av virket:** Dette ga 1084 (329 fra grønn farge + 375 fra rød farge + 380 fra svart farge) planker klare til videre tester, pr. parameter. Andel stokker som passer til parametersammensetningen kan ses under kapittel 5.1.
- 3. Maskinsortering:** Sorteringsprosessen hos Moelven Våler med bruk av Dynagrade. Resultatene fra denne testingen er essensielt.
- 4. 4-punkts bøyetesting på NTNU:** Et utvalg teststykker ble saget og tatt med til NTNU for 4-punktstesting. Kravene i standard NS-EN 408 er vanskelig å følge til punkt og prikke da det tilgjengelige utstyret ikke nødvendigvis støtter alle kravene til standarden. Det er likevel forsøkt å gjøre dette på best mulig måte for å få en rimelig presis indikasjon på styrkeegenskapene – man får kanskje i aller størst grad et sammenligningsgrunnlag mellom de ulike parametersammensetningene da alle stykkene er testet på samme måte.

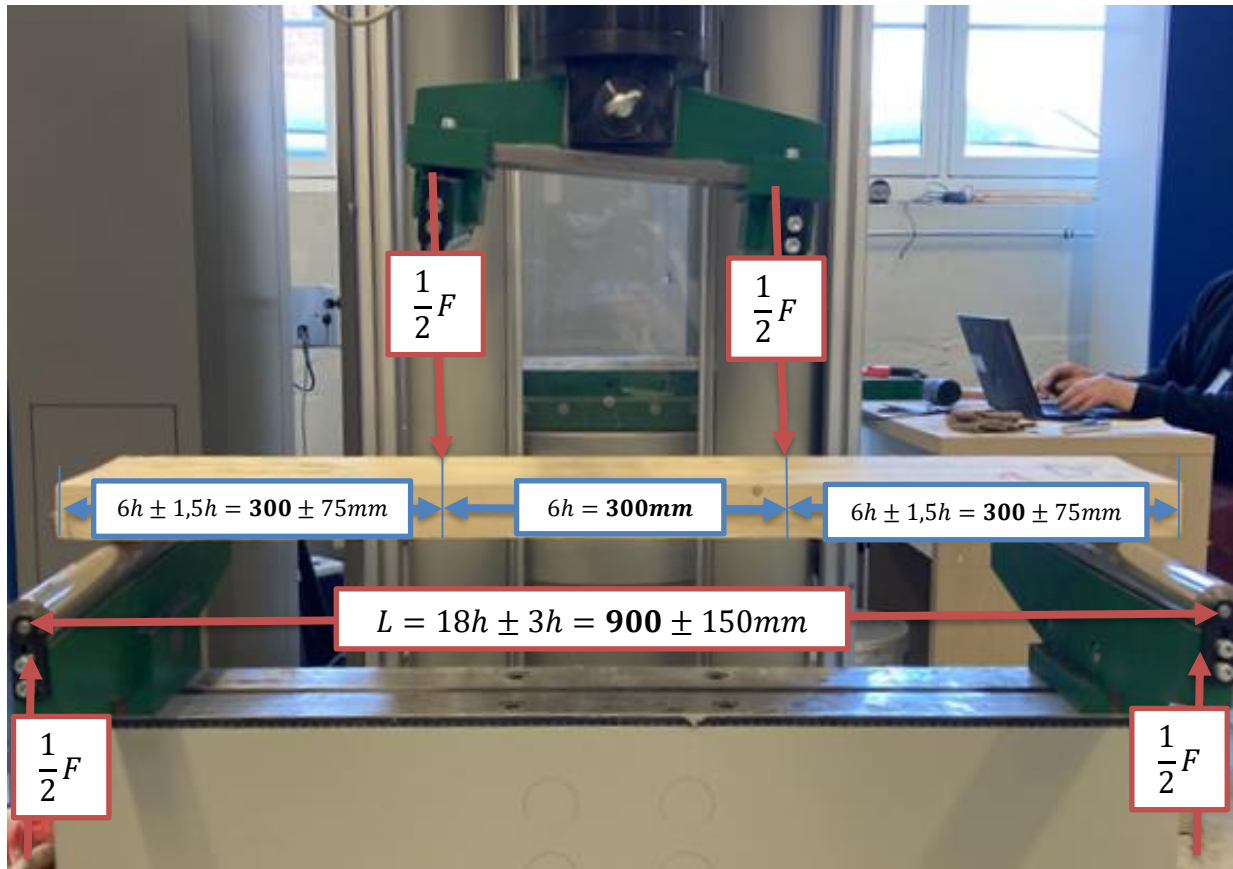
**Utdypning, punkt 1-3:** de ulike parameterne blir delt opp i tre farger: grønn, svart og rød. Stokker merket med **svart** er plukket ut basert på **gj.snittlig kvistvolum i kvistvirvler**, **grønt** er for **gj.snittlig densitet i kjerneved** og **rødt** er for **gj.snittlig kvistavstand**. Det ble tatt ut tre planker av kvalitet T26 fra hvert parti, som deretter ble sagt opp i 4-5 mindre stykker, på rundt 1 meter i lengde.

**Utdypning, punkt 4:** limtre lameller kan gjerne strekktestes, men med kun en bøyemaskin tilgjengelig på laben, er det denne som måtte bli brukt. Iht. punkt 5.2 i NS 14081-1 gjelder det at det for tømmer med karakteristisk bøyefasthet på over  $30 \text{ N/mm}^2$  skal plukkes ut 2 tilfeldige trestykker fra hvert parti, som i sin tur skal testes i henhold til NS-EN 408. 5-percentilverdien fra de siste 100 plankene (fra 50 kontinuerlige skift) utgjør den karakteristiske verdien (Standard Norge, 2019). Dette er vanskelig å få gjennomført for denne oppgaven, da teststykkene er fra ett parti og én dag, men det har likevel blitt plukket ut tilfeldige planker med maskinsortert kvalitet T26, til testing.

I henhold til NS-EN 408 er det satt flere krav til testen og testmaterialet. Under følger noen punkter som er verdt å merke seg:

- Testmaterialet skal ifølge NS-EN 408 ha konstant masse, ved å veies innenfor bestemte tidsintervaller (Standard Norge, 2012). Dette ble vanskelig å gjennomføre da teststykkene ble med til Gjøvik før helga, og deretter måtte det bookes inn på laben uka etterpå. Materialene ble derfor oppbevart, tørt og under tak, utendørs i noen døgn før testen.
- Teststykkene har vært tørket ned til 12 % hos Moelven Våler, men det er mulig at fuktnivået har endret seg noe etter dette. Fuktigheten ble ikke målt i forbindelse med test.
- Ellers er kravene om 4-punktstesting fulgt med avstander mellom opplagre og kraftopplegg. Se figur 29.
- Det ble brukt en belastningshastighet på  $0,11 \text{ kN/s}$ , med unntak av første teststykke som ble kjørt med  $0,25 \text{ kN/s}$  for å klargjøre maskinen. Dette er innenfor NS-EN 408 sine krav om at maksimal kraft skal være nådd innen  $300 \pm 120$  sekunder (Standard Norge, 2012). Ut ifra verdiene under resultatkapittelet, ser man at tidsbruken som regel lå mellom 4-5 minutter per teststykke, altså 240-300 sekunder.
- Teststykkene måtte legges med breddesiden ned, da vipping var et problem dersom de ble satt på høykant.





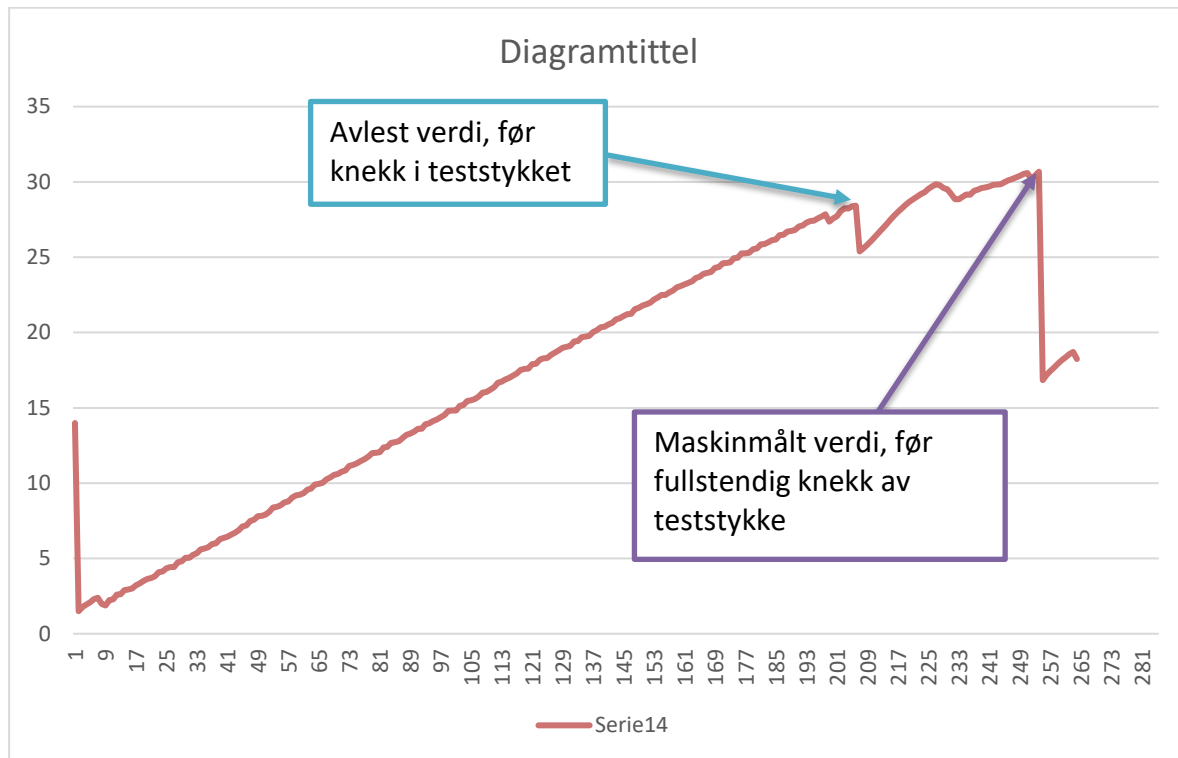
Figur 29: Teststasjon på bygglaben på NTNU i Gjøvik, satt opp etter kravene i NS-EN 408. Med mål for en 50x150 mm planke – benyttet verdi i fet skrift. Bilde: privat

Testingen på NTNU har relativt få prøvestykker, men gir en pekepinn. Ettersom det brukes et fåtall teststykker, vil gjennomsnittsverdiene bli prioritert ved analysen, fremfor verdier fremskaffet ved hjelp av en 5-percentil. Et alternativ er å øke budsjettet og sende inn teststykker til Treteknisk Institutt ved en senere anledning.

## 4.6 Resultater, diskusjon og konklusjon

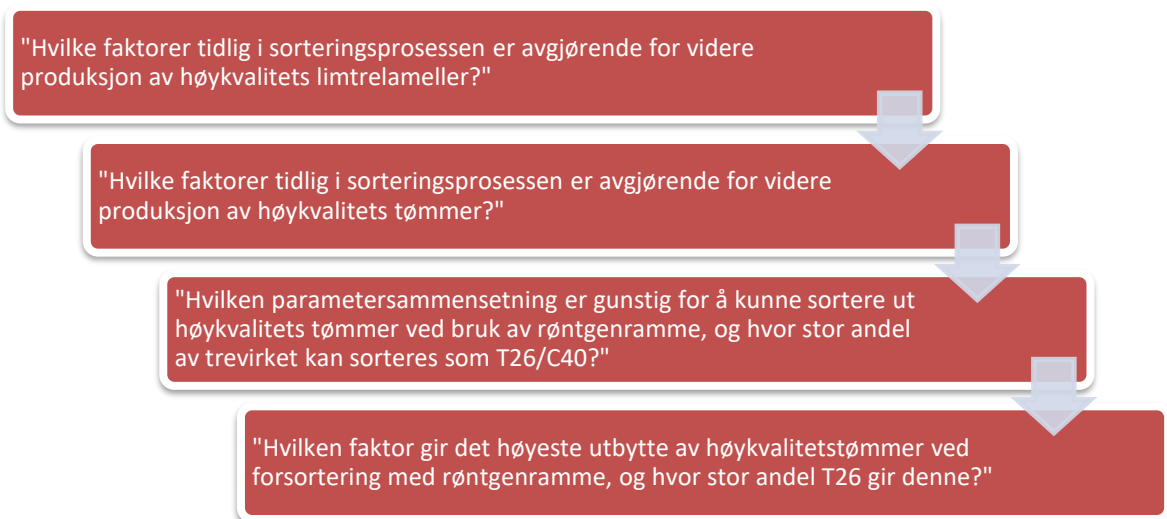
Resultatene er lagt inn slik som de er registrert, og er ikke tillagt egne synspunkter. Dette blir derimot tatt opp i diskusjonen. Et unntak ble vurdert fra bøyetestingen på NTNU, der belastningskurven hadde en tendens til å «knekke» før den fortsatte å måle, slik at fasthetsverdien kunne stige noe. Etter en slik knekk er store deler av trefibrene allerede ødelagt. Det er gjort forsøk på å modifisere disse toppene til å passe bedre med hver enkelt

kurve, men det virker som at den totale forskjellen mellom målte verdier og avleste verdier, er veldig liten – dette gjelder altså for målt motstand mot kN (kilo-Newton, kraft) og ikke spenning, (MPa). I gjennomsnitt var forskjellen under 1 kN, for alle de tre parameterne, når de maskinmålte verdiene sammenlignes med verdiene avlest fra grafene.



Figur 30: Knekkurve for teststykke 14 fra densitet-serien

Et viktig punkt med slike oppgaver, er at konklusjonen skal svare til problemstillingen. Derfor har problemstillingen hele veien vært en løpende prosess. Dersom ordlyden eller presiseringen av problemstillingen ikke har vært helt tilfredsstillende, kan denne endres. Den kan også endres ut ifra oppnådde resultater, endringer av oppgavens omfang og gjennomføring av tester. Dette har ført til en utvikling av problemstilling jamfør figur 31.



Figur 31: Utvikling av problemstilling over tid. Fra eldst til nyest, fra toppen og ned.

## 4.7 Samarbeid og fordeling av arbeidsoppgaver

Samarbeidet har det vært lite å utsette på. Forfatterne kjente hverandre godt fra før, og har samarbeidet på oppgaver i flere tidligere emner. Etter hvert møte har det blitt fordelt oppgaver som har blitt jobbet med, både sammen og hver for oss. Møtene har vært både fysisk og på andre digitale tjenester for å oppdatere hverandre på arbeidet, alt ettersom hva som har passet med tanke på smittevern og kalendere. Begge har satt seg inn i teorien, men oppgaveskrivingen har blitt grovdelt, for så å ha blitt kontroll-lest av hverandre. Dette har igjen ført til konstruktiv tilbakemelding på hverandres arbeid. Et par ganger i måneden har også dokumentet blitt gjennomgått i sin helhet for å se på struktur og innhold, og det har blitt sett på muligheter til videre arbeid.

## 4.8 Relabilitet og validitet

En styrke med arbeidsmetoden er at arbeidet med oppgaven begynte tidlig, og at oppgaven ble tidlig avgrenset. Problemstillingen kunne vært enda tydeligere fra start, men arbeidet med teoridelen var såpass omfattende at det dekket det meste av endringene som ble gjort underveis. Selv om ikke all teorien har blitt anvendt i oppgaven, følte det nødvendig å gjøre en omfattende litteraturstudie.

For å få et tilfredsstillende svar på problemstillingen, ble det sett nærmere på hvilken konklusjon en hadde lyst til å ende opp med til slutt. Dette gjorde det enklere å utarbeide en mer presis problemstilling.

Det er selvsagt ønskelig at resultatene er pålitelige i forskningssammenheng, men det utelukkes ikke at det det kan bli nødvendig med ytterligere testing over lengre tid, for å sikre at dataene ikke er preget for mye av menneskelige feil og tilfeldigheter ved trevirkets fasthetsegenskaper. Produksjons- og testrutinene hos Moelven Våler er godt utprøvd, selv om det ikke er utført lignende tester med røntgenramma for tømmer med høyere styrkeklasse. Innsamlingen av kunnskap til å utarbeide metode for testing, har krevd mye innhenting av både teori og praktisk kunnskap. Det er derfor forsøkt å vende seg til de fagpersonene som med størst sannsynlighet har kunnet gi de beste svarene på nettopp dette. Ettersom dette er et ganske ferskt forskningsområde, er det her gjort studier som er satt sammen til en egnet testmetode hvor det beste er samlet fra flere hold.

# 5 Resultater

## 5.1 Resultater fra maskinsortering

Før maskinsorteringen ble gjort, fikk forfatterne tilsendt data på hvor stor andel av tømmeret som passet til den innsendte parametersammensetningen. Ut ifra denne sammensetningen, ble det plukket ut følgende partier etter røntgensorteringen:

Tabell 4:

Tabell som viser utfall etter grovsortering

Faktor	Antall stokker innenfor krav	Prosentandel	Sammenligning med simulerte data
<b>Gj.snitt densitet i kjerneved</b>	175 av 1299	13,47 %	- 1,55 %
<b>Gj.snitt kvistavstand</b>	188 av 1158	16,23 %	+ 1,50 %
<b>Gj.snitt kvistvolum</b>	184 av 1470	12,52 %	+ 1,71 %

Under er det resultater fra maskinsorteringen, med bruk av Precigrader med Dynagrade-innstilling (se forklaring i tidligere kapitler). Det er valgt ut de verdiene som er ansett som mest relevante for problemstillingen. Noen begrepsforklaringer fra resultattabellene:

- Inn/ut: dette er verdiene før/etter avkapp.
- Avkapp: deler av plankene som blir fjernet fra hver ende. Kan være på grunn av diverse feil i trevirket som ville påvirket kvaliteten negativt.
- Volum: totalt volum for respektive deler av partiet. Oppgitt i m<sup>3</sup>.
- %-andel av limtre: viser fordeling av henholdsvis limtre i kvalitet T14 og T26. Dette skiller seg fra posten «%-andel av volum» som på sin side også regner med volum fra øvrige kvaliteter.

### 5.1.1 Gjennomsnittlig densitet i kjerneved

Tabell 5:

Resultater fra Dynagrade-testing av tømmer sortert på gjennomsnittlig densitet i kjerneved

Grønt, densitet kjerneved	T26	T14	Lavere klasser
Volum, inn	2,16	7,67	1,95
Volum, ut	1,99	7,05	1,80
Gj.snittslengde, inn	496,70	473,60	455,98
Gj.snittslengde, ut	457,10	434,90	432,98
Avkapp, TOT.	39,60	38,70	22,98
%-andel av volum	18,34	64,99	16,67
%-andel av limtre	22,09	77,99	-

### 5.1.2 Gjennomsnittlig kvistavstand

Tabell 6:

Resultater fra Dynagrade-testing av tømmer sortert på gjennomsnittlig kvistavstand

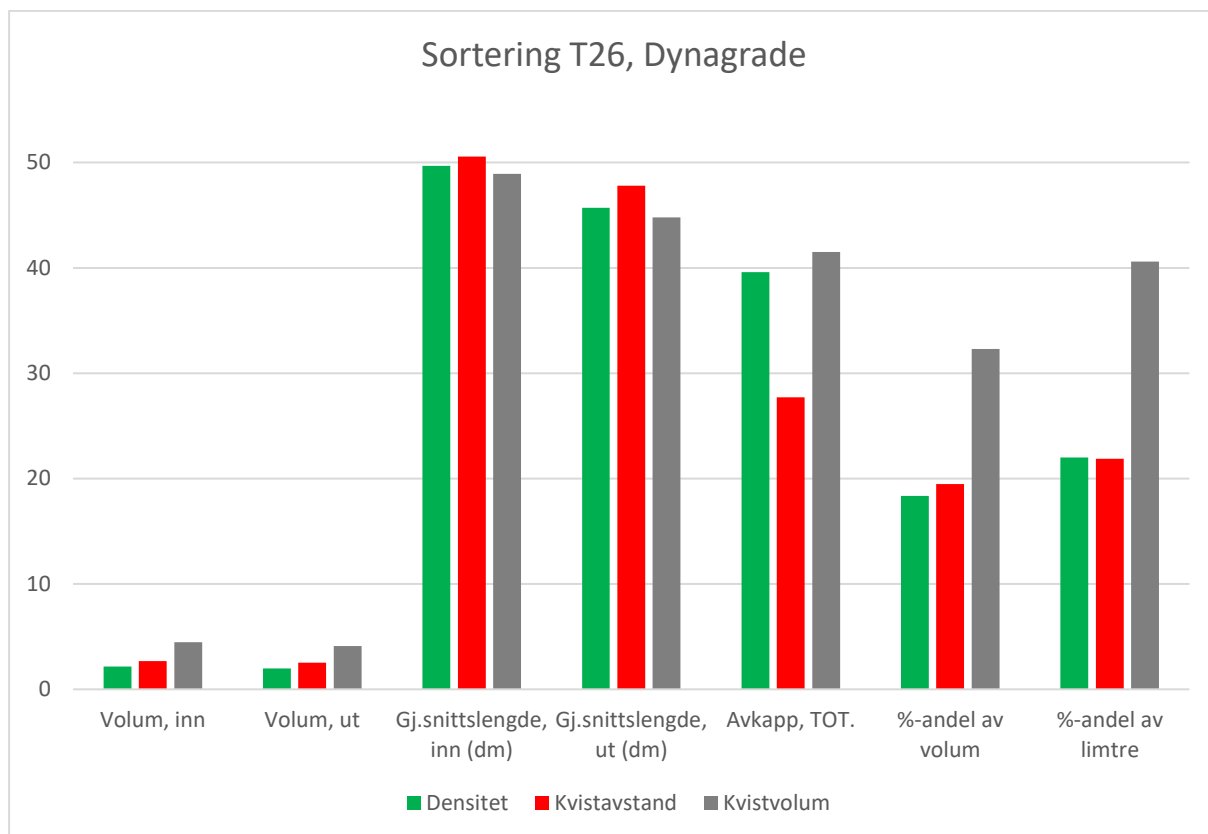
Rødt, kvistavstand	T26	T14	Lavere klasser
Volum, inn	2,69	9,63	1,55
Volum, ut	2,54	9,08	1,45
Gj.snittslengde, inn	505,60	490,00	498,70
Gj.snittslengde, ut	477,90	462,20	465,80
Avkapp, TOT.	27,70	27,70	32,90
%-andel av volum	19,47	69,48	11,04
%-andel av limtre	21,89	78,11	-

### 5.1.3 Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler

Tabell 7:

Resultater fra Dynagrade-testing av tømmer sortert på gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler

Svart, kvistvolum	T26	T14	Lavere klasser
Volum, inn	4,48	6,53	2,75
Volum, ut	4,10	6,00	2,58
Gj.snittslengde, inn	489,20	481,0	470,83
Gj.snittslengde, ut	447,70	441,70	439,83
Avkapp, TOT.	41,50	39,30	31,00
%-andel av volum	32,30	47,28	20,41
%-andel av limtre	40,59	59,42	-



Figur 32: Diagram over sorteringsfaktorer for T26-andelen av maskinsorteringen.

I forbindelse med utvekslingen av simulerte verdier, ble det kjørt en test i uke 10, 2021, på 44x150 mm 2X gran til bruk som kledning, fra tilfeldige stokker. I denne testen lå andelen T26 på mellom 10 og 15%. Pr. i dag går 75-80% av virket til klassene T15-T22. Dette kom frem i en e-post fra produksjef i Moelven Våler AS, Hans Marius Skjærstad, den 15.03.2021.

## 5.2 Resultater fra 4-punkts bøyetesting

Avvik fra testmetoden er nærmere forklart i metodekapittelet. Det samme er organisering og oppsett av testprosedyre. Fullstendig testrapport finnes som vedlegg. Begrepsforklaringer til tabellene på neste side:

- MPa: maksimalt målt spenning i teststykket, målt i mega-Pascal ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ).
- kN: maksimalt målt kraft i kilo-Newton ( $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ ).
- Belastningstid: hvor lenge teststykket ble utsatt for bøyekrefter. 0,25 kN/s for første teststykke, og 0,11 kN/s for øvrige.

- Stokk og delstykke: det er tre planker for hver parameter, som er delt opp i 3-5 delstykker på ca. 1000 mm.

## 5.2.1 Gjennomsnittlig densitet i kjerneved

Tabell 8:

Resultater fra bøyetesting av tømmer sortert på densitet

Densitet										
Stokk →	1			2			3			
Delstykke ↓	MPa	kN	Belastningstid (s)	MPa	kN	Belastningstid (s)	MPa	kN	Belastningstid (s)	
1	76,50	31,86	127,44	76,50	31,88	289,82	75,20	31,35	285,00	
2	74,50	31,05	282,27	53,90	22,47	204,27	83,80	34,90	317,27	
3	80,10	33,37	303,36	67,10	27,96	254,18	78,40	32,67	297,00	
4	77,00	32,08	291,64	63,90	26,62	242,00	73,70	30,69	279,00	
5	61,40	25,59	232,64	71,70	29,86	271,45	73,40	30,57	277,91	
<b>Snitt</b>	73,90	30,79	247,47	66,62	27,76	252,35	76,90	32,04	291,24	
<b>Std.avvik</b>	6,50	2,70	64,67	7,65	3,18	28,95	3,88	1,61	14,68	
<b>Tot.snitt MPa</b>	72,47			<b>Std.avvik Mpa</b>	7,57					
<b>Tot.snitt kN</b>	30,19			<b>Std.avvik kN</b>	3,15					
<b>Tot. Snitt tid</b>	263,68			<b>Std.avvik tid</b>	46,14					

## 5.2.2 Gjennomsnittlig kvistavstand

Tabell 9:

Resultater fra bøyetesting av tømmer sortert på kvistavstand

Kvistavstand										
Stokk →	1			2			3			
Delstykke ↓	MPa	kN	Belastningstid (s)	MPa	kN	Belastningstid (s)	MPa	kN	Belastningstid (s)	
1	49,20	20,48	186,18	73,10	30,45	276,82	62,80	26,16	237,82	
2	65,40	27,25	247,73	68,50	28,56	259,64	61,80	25,76	234,18	
3	55,30	23,04	209,45	73,40	30,59	278,09	59,20	24,66	224,18	
4	60,20	25,08	228,00	78*	32,42*	-	62,10	25,89	235,36	
5	62,30	25,97	236,09				52,80	22,00	200,00	
<b>Snitt</b>	58,48	24,36	221,49	71,67	29,87	271,52	59,74	24,89	226,31	
<b>Std.avvik</b>	5,69	2,38	21,61	2,24	0,93	8,42	3,68	1,53	13,95	
<b>Tot.snitt MPa</b>	62,01			<b>Std.avvik Mpa</b>	6,86					
<b>Tot.snitt kN</b>	25,84			<b>Std.avvik kN</b>	2,86					
<b>Tot. Snitt tid</b>	234,89			<b>Std.avvik tid</b>	26,03					
<b>Merknader</b>	*Brudd oppsto ikke. Utelatt fra beregninger									



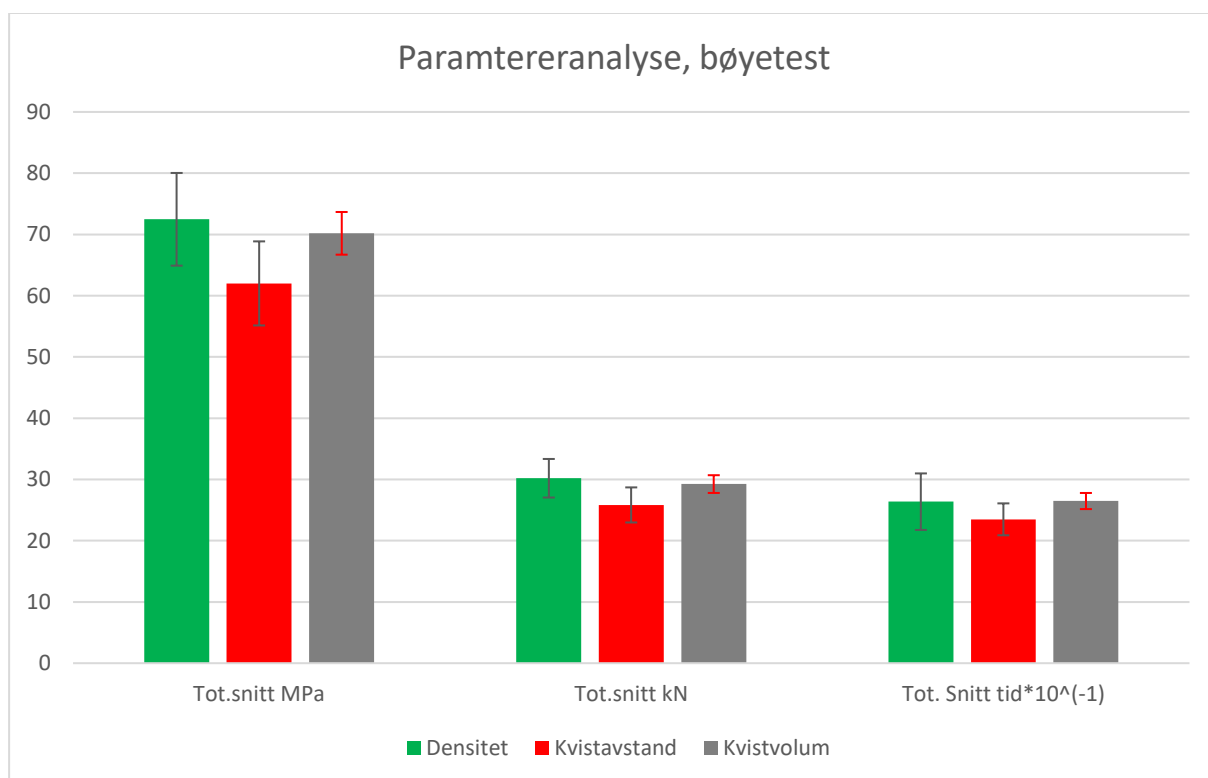
## 5.2.3 Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler

Tabell 10:

Resultater fra bøyetesting av tømmer sortert på kvistvolum i kvistvirvler

Stokk →	Kvistvolum								
	1			2			3		
Delstykke ↓	MPa	kN	Belastningstid (s)	MPa	kN	Belastningstid (s)	MPa	kN	Belastningstid (s)
1	66,70	27,79	252,64	75,20	31,32	284,73	71,30	29,72	270,18
2	69,70	29,03	263,91	72,30	30,13	273,91	75,80	31,59	287,18
3	69,50	28,96	263,27	70,70	29,45	267,73	68,60	28,58	259,82
4	70,00	29,18	265,27	65,80	27,41	249,18	73,60	30,65	278,64
5	63,20	26,35	239,55						
<b>Snitt</b>	67,82	28,26	256,93	71,00	29,58	268,89	72,33	30,14	272,39
<b>Std.avvik</b>	2,60	1,08	9,79	3,41	1,42	12,90	2,68	1,11	11,28
Tot.snitt MPa	70,18			Std.avvik Mpa	3,48				
Tot.snitt kN	29,24			Std.avvik kN	1,45				
Tot. Snitt tid	264,78			Std.avvik tid	13,15				

## 5.2.4 Sammenlikning



Figur 33: Sammenlikning mellom de tre partiene, med standardavvik.

# 6 Diskusjon og analyse

## 6.1 Analyse av resultater

Under følger en analyse av resultatene fra både røntgensorteringen og bøyetesten. Partiene vil bli analysert hver for seg, med sammenligning mot hverandre. Deretter følger en diskusjon rundt analysen og resten av oppgaven. For enkelhetens skyld forkortes navnet på partiene i analysen til densitet, kvistavstand og kvistvolum.

En generell betraktning når det gjelder alle de tre partiene, er at de jevnt over er veldig sterke. Som nevnt i teoridelen ligger bøyekravene for på T26 45 MPa eller 48 MPa, noe alle teststykkene overgår. Totalt ligger snittet for MPa på 68,22. Noen teststykker kommer faktisk over 80 MPa, altså nærmere dobbelt så høyt som kravet. Dette vitner om et stort potensial som ikke blir optimalt utnyttet i dag. Som nevnt er det usikkert om resultatene er 100% korrekte, ettersom det er begrenset tilgang på testutstyr. Likevel er det grunn til å tro at det gir et tilnærmet riktig resultat.

### Gjennomsnittlig densitet i kjerneved

Dette partiet viste seg å bestå av mye middeltømmer. Det vil si en normal blanding av midtstokker og rotstokker. Dette vil i større grad føre til bedre utnyttelse av hver stokk enn for partiene kvistavstand og kvistvolum. Siden kvistavstand besto av stort sett bare midtstokker, og kvistvolum besto av stort sett bare rotstokker. Da vil både rotstokk og midtstokk svært sjelden bli sortert innenfor kravene, noe som kan skje hos densitet.

Dette ble et parti som ikke skilte seg ut verken positivt eller negativt, til sammenligning med de to andre parameterne. Densitet endte opp med å få den laveste %-andelen T26 av volumet. Den endte på 18,34%. Dette er ikke veldig mye dårligere enn kvistavstand, som endte på 19,47%. Likevel blir densitet generelt et dårligere parti ettersom en større prosentandel av volumet går til lavere klasser. Dette er på 16,67% for densitet, mot 11,04% for kvistavstand.

Selv om %-andelen T26 var tilnærmet lik som for kvistavstand, hadde densitet høyere kvalitet på det tømmeret som ble klassifisert som T26. Totalt endte densitet med et snitt på 10 MPa

høyere enn kvistavstand på bøyetesten. Dette til tross for at partiet for densitet som nevnt endte opp med minst volum av T26. Det vil si at det ikke var et veldig stort volum av T26 som ble sortert ut, men det tømmeret som ble klassifisert som T26 var generelt sterkere enn de to andre partiene.

Til tross for at teststykkene for densitet hadde det høyeste snittet for spenning og kraft, var det også det partiet med størst standardavvik. Noe som vil si at det var partiet med størst sprik blant testmaterialet. Sammenlignet med standardavvik for kvistvolum har densitet omtrent dobbelt så stort standardavvik i MPa, med 7,57 for densitet og 3,48 for kvistvolum. Partiet for kvistavstand er i nærheten av densitet med 6,86 i standardavvik. Det vil si at siden densitet hadde det høyeste snittet for MPa, men også det høyeste standardavviket, hadde partiet for densitet et par planker med svært høy styrke. Et par av teststykkene kom over 80 MPa. Dette var ingen teststykker i de andre partiene i nærheten av.

Når det gjelder de andre verdiene i sorteringstabellen, er de verken høye eller lave, og skiller seg lite ut fra de andre partiene. Disse vil bli nevnt i forbindelse med analysen av de andre partiene.

En interessant detalj er at disse teststykkene var veldig sprø, altså de knakk brått. De knakk ikke nødvendigvis midt på spennet, men oftere i nærheten av opplagerne. Enkelte tilfeller var det lett å se at dette var på grunn av kvist. Alt i alt kan det virke som at densitet har mye til felles som tømmeret sortert ut på kvistavstand, men at den totale kvaliteten er bedre ettersom densitetstømmeret skårer såpass mye høyere på bøyetesting.

### **Gjennomsnittlig kvistavstand:**

Dette partiet viste seg å bestå av hovedsakelig midtstokker med liten avsmaling. Som nevnt i teoridelen er midtstokken den delen av treet som vanligvis har minst avsmaling. I samtale med administrerende direktør i treteknisk institutt Audun Øvrum ble det diskutert å bruke avsmaling som en mulig parameter å sortere på. Dette vil bli diskutert i kapittel 6.2. Dersom man kan se på dette partiet som en sammenheng mellom kvistavstand og avsmaling virker det ikke som en parameter som gir de beste resultatene. Partiet med kvistavstand endte med en T26-prosentandel av volumet på 19,47. Dette gir en lavere andel T26-tømmer enn partiet for kvistvolum, som fikk en T26-prosentandel av volum på 32,3. I sammenligning med partiet for densitet ender kvistavstand og densitet omtrent likt.

Til tross for at det ikke ble den største andelen T26 i partiet med kvistavstand, ble det derimot lite tømmer som måtte sorteres til lavere klasser. Kun 11,04 % av volumet måtte sorteres som lavere klasser. Dette er 5,63 % og 9,37 % lavere enn henholdsvis densitet og kvistvolum. Det vil si at dersom målet er å få mest mulig limtre ut av partiet, altså T14 og T26, gir kvistavstand best resultater. Hvis man skal anta at avsmaling er en faktor for styrke, ser man at det jevnt over gir sterke lameller, men det er få som kommer over kravene til T26.

Som følge av et fint parti, med midtstokker og liten avsmaling, ender partiet opp med den minste andelen avkapp. Lite avkapp medfører også den høyeste gjennomsnittslengden av de tre partiene. Gjennomsnittslengden endte på 477,9 cm etter avkapp, noe som er 20 cm og 30 cm lengre enn densitet og kvistvolum. Totalt sett er dette et bra parti med mye fint tømmer, selv om det gjerne skulle endt opp med en høyere prosent av volumet.

Når det gjelder utfallet etter grovsorteringen (tabell 4) fikk kvistavstand den høyeste prosentandelen tømmer fra røntgensorteringen. Det vil si at det, med tilnærmet like strenge krav for alle partiene, var flere stokker som oppnådde kravet for kvistavstand enn tilsvarende for densitet og kvistvolum. Dette er positivt ettersom en mindre andel tømmer må gå til andre formål. Prosentandelen for kvistavstand endte på 16,23. Noe som vil si at som partiet med minst andel stokker gjennom røntgenmaskina, ble det likevel den største andelen limtre totalt.

På bøyetesten viste dette partiet seg å ha vesentlig dårligere styrke enn densitet og kvistvolum. Kvistvolum fikk et snitt på 62,0 MPa, mens densitet og kvistvolum fikk et snitt på 72,47 MPa og 70,18 MPa. Det vil si at kvistavstand endte omtrent 10 MPa lavere enn de to andre i gjennomsnitt. Standardavviket i MPa endte på 6,86. Dette er relativt likt som standardavviket til densitet, som endte på 7,57. Likevel har både densitet og kvistavstand mye høyere standardavvik enn kvistvolum, som endte på 3,48 i standardavvik. Dermed er det mer sprik i kvaliteten for kvistavstand og densitet.

### **Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler:**

Dette partiet endte med størst utbytte T26 av de tre partiene. Ser man på prosentandelen av limtre i partiene, fikk kvistvolum nærmere dobbelt så høy prosent T26 enn de to andre. Helt presist endte kvistvolum med en %-andel T26 på 40,59 %, mens densitet og kvistavstand endte på 22,01 % og 21,89 %. Dette gjenspeiles også i %-andelen T26 av volumet i partiene. Her endte kvistvolum på 32,30 %, mens densitet og kvistavstand endte på 18,34 % og

19,47 %. Det vil si at differansen mellom kvistvolum og de to andre partiene er blitt litt mindre her. Dette er fordi kvistvolum har en større andel som blir sortert til lavere klasser enn de to andre partiene. Likevel betyr det at partiet for kvistvolum besto av en stor del sterkt tømmer. Noe som naturlig nok er et svært positivt resultat når formålet er å nettopp sortere ut sterkt tømmer.

Dette partiet viste seg å stort sett bestå av rotstokk, med mye krok og tennar. Rotstokken består av stiv ved og småkvist. Dette er to gode parametere for å få et sterkt trestykke. Kvist er som kjent et svakt punkt i treets tverrsnitt. Dersom man greier å luke ut tømmeret med store kvister vil man få sterkere trestykker. At store deler av tømmeret med lite kvistvolum ender opp som rotstokk fører også som nevnt med seg stiv og sterk ved. Noe som det er både fordeler og ulemper ved.

Det at partiet med kvistvolum besto av mye krok og tennar resulterte i at en betydelig andel av volumet ble sortert som lavere klasser. Kvistvolum endte med  $2,75 \text{ m}^3$ , mens kvistavstand og densitet endte på henholdsvis  $1,55 \text{ m}^3$  og  $1,95 \text{ m}^3$ . Det viser at kvistvolum har utvilsomt størst andel sortert til lavere klasser. Det vil si at partiet har både størst andel sterkt tømmer, men også den største andelen med dårlig tømmer. Dermed vil det medføre at ved å sortere ut denne studiens største andel T26, vil man også få en stor andel lavere klasser.

Kvistvolum-serien endte med høyest andel avkapp av de tre seriene, med henholdsvis 41,5 cm. Det er 13,8 cm lengre enn for kvistavstand, mens densitet har nesten like stor andel avkapp som kvistvolum. Grunnen til at kvistvolum har så mye avkapp er nok en direkte følge av at partiet besto av mye krok og tennar som må sages bort. Når det gjelder gjennomsnittslengden på tømmeret ble kvistvolum den serien med lavest gjennomsnittslengde. Gjennomsnittslengden på kvistvolum ble etter avkapp 447,7 cm, altså ble det 9,4 cm kortere enn densitet og 30,2 cm kortere enn kvistavstand. Dette henger tett sammen med lengden på avkapp. I tillegg besto partiet av mye krok som vil gjøre det utfordrende å få lange rette lengder.

Under bøyetestingen opplevde forfatterne at kvistvolumpartiet hadde generelt høy fasthet. Densitet hadde høyere snitt MPa, men kvistvolum hadde lavest sprik i standardavviket for bøyespenning. Kvistvolum fikk et standardavvik på 3,48. Mens densitet og kvistavstand fikk et standardavvik på omtrent dobbelt så mye, med henholdsvis 7,56 og 6,86. Stykkene knakk midt under, og ikke på grunn av kvister og andre uregelmessigheter nærmere endene. Partiet

opplevdes også som litt seigere enn densitet og kvistavstand. Det vil si at det tålte mer deformasjon før det sprakk, og dermed var mindre sprøtt.

## 6.2 Diskusjon

### Utbytte av resultater

Ut ifra resultatene i denne oppgaven kan man forhåpentligvis komme ett steg nærmere optimalisering i bruk av røntgenramme for tømmer-sortering. Resultatene viser at den parameteren som gir høyest andel T26, også gir den høyeste andelen lavere kvaliteter. Dette er noe å ta i betraktning hvis man skal se på det økonomiske perspektivet. Er hensikten å plukke ut store mengder T26 til ett spesialprosjekt, kan det virke som at kvistvolum er det sikreste kortet, mens kvistavstand er vel så bra til masseproduksjon av limtre hvis man regner med høyt forbruk av også lavere klasser. Det er rimelig å anta at klassene rundt T14 og T15 er vel så aktuelle for en stor del av markedet, som hva T26 er.

Resultatene i denne oppgaven er også veldig fine å bygge videre på, dersom man ønsker å optimalisere bruken av røntgenmaskina ytterligere. Siden dette er noe av den første forskningen som blir gjort på dette området i Norge, er det naturlig å anta at det er mulig å utvikle potensialet videre. For å øke utbyttet av T26, vil det eksempelvis være mulig å bruke resultater og krav fra denne oppgaven, og deretter kombinere parametere. En annen mulighet er å finne nye parametere. Dette vil nå bli diskutert videre.

### Valg av parametere

Da stokkene ble sortert ut i tre partier basert på de tre parameterne, satt en igjen med en andel på mellom 12-16 % av et stort sorteringsparti på over 1000 stokker. På grunn av omfang og tid ble ikke de øvrige 88-84 % maskinsortert og testet i denne studien. Forfatterne synes dette hadde vært interessant å se på, og ville testet dette dersom det skulle blitt gjort på nytt i en større skala. Antagelig er en vesentlig andel av tømmeret som er sortert ut med kravene til kvistvolum, også over kravet til for eksempel densitet i kjerneved. Enkelte stokker er helt sikkert bedre enn kravene til begge parameterne, men dette er vanskelig å befestes uten en omfattende individsporing av stokkene.

En problemstilling som dukket opp, er om det er mulig å kombinere det beste fra flere parametere. På denne måten kan det tenkes at en større andel av tømmeret kan brukes til å plukke ut den beste kvaliteten. Kombineres for eksempel kravene til gjennomsnittlig volum i kvistvirvler og densitet i kjerneved i røntgensorteringen, og en stokk tilfredsstillende kravet til én av – eller begge – parametere, sitter en antageligvis igjen med en høyere andel enn om en kun ser på én av dem. Ettersom prosentandelen fra forsoringen (12-16 %) og også styrkeverdiene fra bøyetesten er såpass like for alle tre partiene, kan det tenkes at mange av disse stokkene er over kravet til flere av parameterkravene.

Forfatterne mener totalt sett at det forekom en god balanse mellom godt, og mindre godt, tømmer. Kravene som ble satt fulgte samme tankegang med å se på gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik, noe som ga et representativt utvalg stokker. Ved å se på disse kravene, kom det med en andel tømmer både fra de høyeste kvalitetene (T26), noe lavere kvaliteter, samt «s/f reject» (laveste sort).

Det generelle inntrykket av hvor på stokken de ulike parametere hadde sitt opphav, var tidvis noe overraskende for forfatterne. Partiet sortert ut på kvistavstand var hovedsakelig midtstokker, fremfor rotstokk. Forfatterne tror at en mulig grunn til dette kan være at granas kvister vokser tett, men med lavt volum, ved tidlig vekst. Dette blir så senere en del av rotstokken. Det samme gjelder også for partiet med kvistvolum, da dette partiet endte opp med hovedsakelig rotstokker. Det er fordi grana er liten og har små kvister i ung alder, mens kvister videre oppover stammen vil vokse seg større i volum ettersom treet vokser til. Dette er også en fin måte å kunne skille rotstokker og midtstokker, dersom det skulle være behov for dette ved en anledning.

Det finnes andre parametere som kanskje kunne vært vel så interessante å se på. I samtalen med administrerende direktør i Treteknisk, Audun Øvrum, ble avsmaling diskutert som en mulig parameter å sortere på. Han mente at avsmaling er viktig for styrke i tømmer. Likevel ble det valgt å sortere på andre parametere i denne studien. Ut ifra resultatene i denne studien ser det derimot ikke ut til at avsmaling har hatt særlig stor innvirkning. Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler virker ut fra analysen å bli den serien med best resultat i denne studien. Denne serien besto av en stor del rotstokker, som ifølge innhentet teori skal være de med størst avsmaling. Derfor virker det som om avsmaling har lite å si basert på oppgavens resultater, til tross for at andre studier har vist at styrkeegenskapene øker ved synkende

avsmaling. Forfatterne av oppgaven synes likevel det hadde vært interessant å se hva som hadde blitt utfallet av en serie som ble kjørt med sortering på avsmaling.

Densitet kan som tidligere nevnt også sorteres ut på årringbredde, men det er antatt at metoden som er brukt med å se på den «rå» densiteten i kjerneveden er en vel så god indikasjon (Brännström, 2005), og ut ifra resultatene ser dette ut til å være et stabilt og konsekvent god indikasjon på styrke.

Som lagt frem i teorikapittelet, har geografi og bonitet mye å si for trevirkets styrkeegenskaper. Dersom det hadde vært mulig å følge et parti tømmer fra hogstfeltet og gjennom sagbruket, kunne dette også vært interessant å se på. Da kunne det vært mulig å se hvordan vekstlokasjonen til trevirket slår ut på andelen styrkeklasser i den endelige maskinsorteringen. Ut ifra dataene en får omhandlende for eksempel trevirkets alder, jordsmonn og høyde over havet, kunne det kanskje være mulig å hente ut partier med tømmer fra bestemte lokasjoner dersom en skulle levert tømmer til et prosjekt som krever spesielt mye T26. En interessant måte å forsortere tømmeret på er å gjøre det mens treet fortsatt er i skogen, men dette er ikke aktuelt i denne oppgaven da tømmeret blir levert til mottaket ferdig hogget. Dette, sammen med en effektiv metode for å sjekke fiberhelning, er kanskje de mest aktuelle parameterne å se på ved en annen studie.

Av de parameterne som ble valgt ut, er det densitet i kjerneved som skiller seg minst ut sett i sammenheng med de to andre parameterne. Den er best på bøyetesten, men er verken mye bedre, eller mye dårligere, på andre områder enn noen av de andre.

## **Testprosedyre**

Testingen gjort på NTNU sin bygglab ga høye verdier for bøyefasthet, selv om det skal understrekes at det spesifikt ble valgt ut solid materiale til bøyetesten. Derfor er, som tidligere nevnt i metodekapittelet, dataene fra disse testene i all hovedsak brukt for å sammenligne internt mellom de tre forskjellige parametersammensetningene. Feilkilder ved testingen, er tatt opp i metodekapittelet.

Sett i etterkant hadde de mest omfattende og klare resultatene kommet ved en individsporing av hver enkelt stokk. Da ville det vært mulig å se på verdiene fra røntgenskanningen opp mot hver enkelt planke etter saging og maskinsortering. Til tross for dette skal andelen stokker



som er undersøkt være tilstrekkelig, når en i tillegg inkluderer de simulerte verdiene fra Excel-arkene.

Sammenlignet med Tresterk-prosjektet, ligger denne oppgavens data for bøyefasthet langt høyere. Ut ifra testverdiene virker det som at det er et større potensiale for bøyestyrke i lamellene, enn hva en får ut av Dynagrade-programmet.

## **Metodetype**

Fordelen med «big batch»-metoden er at en kan se om det finnes nok volum i den valgte klassen, sett i sammenheng med de valgte parameterne. Feilkildene ved bruk av en slik metode kan særlig oppstå dersom flere parametere benyttes på én gang, noe som kan føre til at det blir vanskelig å fjerne virkefeilene.

En av de store fordelene med parameteranalyse er at den mest avgjørende variabelen kun består av ett parameter, og at det ut ifra det kan settes en mer presis konklusjon basert på resultatet av analysen. Parameteranalysen gir også en bedre innsikt i verdijusteringen på selve parameterne, og hvordan det påvirker kvaliteten på treverket. Det oppstår få kostnader ved produksjonsfeil ettersom det sages i samme parti som den tradisjonelle klassen og bare er en test. Ulempen med denne analysen oppstår dersom man planlegger å bruke flere parameter, ettersom dette vil føre til at det tar lang tid før man får et ferdig produkt.

## **Lønnsomhet**

Så fremt markedet etterspør høyere kvalitet på blant annet limtreelementer, viser denne studien at produksjonsprosessen bak godt nok materiale ikke skal være noe hinder. Etterspørselen etter slik kvalitet er et selvsagt et faktum for at produksjon av T26 i det hele tatt skal være aktuelt. Forhåpentligvis kan en bedring i bruk av røntgenramma øke kundegruppen og heve prisen på tømmeret som sendes ut av sagbruket hos Moelven Våler.

Til tross for at om lag 68 % av utbyttet fra partiet sortert på kvistvolum ikke går til T26, har det resterende materiale fortsatt et lavt innhold av kvist. I stedet for å la dette gå til spille som 50x150 mm tømmer med lavere kvalitet, kan dette kanskje brukes til andre formål som også krever lite kvist. Det være seg panel eller listverk, for å nevne noe.

## Røntgenramme til forsortering

Optimalisering av verdier og parametere er nok en omfattende jobb, men bruk av røntgenramme til forsortering av tømmer virker å ha en lys fremtid. Resultatene viser at røntgenteknologi, ved riktig anvendelse, gir et godt grunnlag for å kunne systematisk plukke ut tømmer av høy kvalitet. I stedet for å teste nye parametere, er et alternativ å sette kravene for studiens antatt beste parameter, kvistvolum, såpass høyt at en eliminerer både de laveste klassene, samt størsteparten av andelen T14. Dersom et slikt høyt krav legges inn i røntgenrammens programmering, kan tømmer fortløpende legges til side i egen sorteringslomme på sagbruket, og holdes av frem til et aktuelt prosjekt som krever T26, dukker opp.

## FNs bærekraftsmål



Figur 34: Aktuelle bærekraftsmål. Hentet fra FN-sambandet sine nettsider (til fritt bruk).

Aktuelle bærekraftsmål er omtalt i kapittel 1.5.1. Resultatene i denne studien kan knyttes opp mot mål 11 ved at sterkere tømmer kan brukes i nybygg i urbanisering, og redusere negative miljøpåvirkninger sett i sammenheng med mindre bærekraftige materialer, som stål og betong. Dette kan spesielt ses i sammenheng med at gran tradisjonelt sett er vårt fremste byggemateriale.

For mål 12, omhandlende ansvarlig forbruk og produksjon, kan resultatene bidra til en mer effektiv utnyttelse av naturressurser. Med bruk av røntgenskanning til forsortering, får man i større grad optimalisert bruken av naturressursen tre, som Norge igjen har veldig mye av.

Resultatene i denne studien tar ikke for seg bærekraftig forvaltning av skog direkte, men resultatene kommer som en direkte konsekvens av god forvaltning av skogområder over lang tid. Uten gode rutiner for forvaltning av skog, blir det verken mye skog eller sterkt tømmer.

Bærekraftig forvaltning innebærer også nyplanting av hogstområder, slik at ny og sunn skog kan spire og gro.

For mål 17, samarbeid for å nå målene, kan internasjonal eksport av både bærekraftige byggeteknikk, og kunnskap om produksjon og utnyttelse av trevirke, være aktuelle målsetninger. Dette kan også være med på å øke bevisstheten rundt bruk av tre som et miljøvennlig og allsidig materiale.

# 7 Konklusjon

Dette kapittelet skal forsøke å oppsummere funnene fra hele studien, gjennom teori, metode, resultater og diskusjon, for å kunne gi en konklusjon på studiens problemstilling fra kapittel 1.2, som lyder som følger:

*Hvilken faktor gir det høyeste utbytte av høykvalitetstømmer ved forsortering med røntgenramme, og hvor stor andel T26 gir denne?*

Det er utfordrende å sette en konklusjon på denne oppgaven ettersom det ikke er ett fasitsvar på oppgaven, men mange mulige svar. I tillegg er det fortsatt et svært nytt tema i Norge, og det vil kreve mer forskning før man finner den optimale løsningen for bruk av røntgenmaskin til forsortering av tømmer.

Likevel gir funnene i oppgaven klare indikasjoner på hva som vil lønne seg. Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler er den faktoren som uten tvil gir mest utbytte av T26. Derfor er dette pr. nå den antatt beste faktoren å sortere på, dersom T26 er nødvendig til et prosjekt. Samtidig gir dette den største andelen av tømmer til lavere klasser. Så dersom målet er å sortere ut den største andelen limtre (T14 og T26) er gjennomsnittlig kvistavstand den faktoren som gir mest utbytte. Forsortering basert på gjennomsnittlig densitet i kjerneved virker ut fra funn i denne oppgaven å ikke være lønnsomt satt opp mot de to andre partiene. Selv om gjennomsnittlig densitet i kjerneved helt tydelig er en sikker faktor for styrke i tømmer, gir dette altså mindre utbytte av T26 og T14 enn gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler og gjennomsnittlig kvistavstand.

Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler gir en prosentandel av T26 på 32,30 % av det totale produksjonsvolumet. Basert på funn i denne oppgaven virker dette som et bra utbytte, både i forhold til de andre partiene, og med tanke på estimerte verdier. Det vil kreve mer forskning for å finne andre parametere eller parameterkombinasjoner som eventuelt kan øke utbyttet av T26. Dersom man ønsker mest mulig limtre (T14 og T26), gir gjennomsnittlig kvistavstand en prosentandel på 88,96 %. Dermed vil kun 11,04 % gå til lavere klasser.

Underveis i prosessen har forfatterne oppdaget det samme som forfatterne av Tresterk-prosjektet. Store deler av norsk tømmer blir ikke utnyttet styrkemessig, og mye tømmer vil

kunne gå til høyere klasser enn hva de går til i dag. Denne oppgavens resultater når det kommer til bøyefasthet, ligger langt over kravet til T26. Derfor, om man sorterer mye tømmer til T14 og T22, vil man gå glipp av store mengder tømmer som i utgangspunktet er T26 eller eventuelt enda høyere. I kvistvolumpartiet ble som nevnt 32,30 % av volumet sortert til klasse T26, altså nærmere en tredjedel av partiet. Dette vil vanligvis bli sortert ut i en lavere klasse. Det viser hvor stort potensialet er, spesielt om man får sortert ut dette ved bruk av røntgenmaskin tidlig i prosessen, hvilket er utgangspunktet for denne oppgaven.

## 7.1 Videre forskning

Denne oppgaven gir mange svar og indikasjoner, men etterlater også muligheter for videre undersøkelser og forskning på feltet. En naturlig fortsettelse av arbeidet vil være å undersøke flere parametere, for å se hvorvidt disse stikker seg ut i forhold til parameterne som er valgt ut i denne studien. Det samme gjelder for en kombinerings av flere faktorer.

En mulig utvikling innen røntgenteknologi er også aktuelt, og da spesielt å se på muligheten for mer presise målinger, samt en utvidelse av antall parametere det er mulig å sortere ut tømmer på. Fiberhelling er et eksempel på dette.

For en mer omfattende og krevende studie, kan det være aktuelt å se på individsporing av stokkene, i tillegg til en mer nøyaktig og omfattende testing hos for eksempel Treteknisk. Testingen hos Treteknisk kan også være med på å få utviklet verifiserte sorteringsmetoder, som i fremtiden kanskje kan utvikles til en norsk eller internasjonal standard omhandlende forsortering av tømmer. Kanskje kan et forsøk på å teste tømmeret med høy kvalitet i en faktisk limtrekonstruksjon, også være aktuelt.

En annen vinkling er å se på økonomiske faktorer, som for eksempel hva som er mest lønnsomt av å sortere kun med tanke på T26, kontra en større andel lavere limtreklasser. Det er også mulig å se på hvordan en selektiv utvelgelse av T26 til limtre, går på bekostning av kvalitetsmaterialer til andre formål. Det ble også nevnt tidligere i oppgaven at det finnes andre alternativer til T26 når en ser på limtre av kvalitet GL32c. Har en av de andre variantene større kommersielt potensiale?

Lengre inn fremtiden, ville det vært interessant å se på om genmodifisering av trær er mulig, hvor en aktivt kan gå inn og velge egenskaper, som for eksempel kvistfrie trestammer.

# Litteraturliste

- Andersen, G. (2019) *Valg av forskningsmetode*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subject:19/topic:1:195989/topic:1:195829/resource:1:56937?filters=urn:filter:cddc3895-a19b-4e30-bd27-2f91b4a02894> (Hentet: 17.02. 2021).
- Aune, E. I. (2020) *Gran*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/gran> (Hentet: 22.01. 2021).
- Barbiero, D. og MiCROTEC (2015) TOMOLOG X-Ray Log Analysis iMiCROTEC (red.). (Hentet: 23.02.2021).
- Brännström, M. (2005) *Estabilishing a Model for the Dry Density og Heartwood of Norway spruce by Paramteres Industrially Measurable on Green Logs* Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1030017/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 02.03. 2021).
- Brännström, M. (2009) *Integrated strength grading* Tilgjengelig fra: <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:990399/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 02.02. 2021).
- Dynalyse AB (2020) *Precigrader*. Tilgjengelig fra: <https://dynalyse.com/about-us/> (Hentet: 25.01. 2021).
- Dynalyse AB (2021) *Dynagrade*. Tilgjengelig fra: <https://dynalyse.com/products/strength-grading-lumber-timber/dynagrade/> (Hentet: 11.05. 2021).
- Egenes, J. S. (2017) *Materiallære for TDL* Tilgjengelig fra: <https://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/trematerialer/TDL%20Materiall%c3%a6re%20tre%20presentasjon%20H2017%20JSE.PDF> (Hentet: 04.02. 2021).
- Fischer, C. (2016) *Density and bending properties of Norway spruce*. Tilgjengelig fra: [https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2688667/2016-43\\_Carolin%20Fischer\\_%28INA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2688667/2016-43_Carolin%20Fischer_%28INA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hentet: 02.02. 2021).
- Flæte, P. O. (2016) *Tresterk Sluttrapport*. Tilgjengelig fra: [http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2016/Tresterk%20-%20trelast%20med%20h%C3%B8yere%20styrke%20og%20stivhet\\_2011-10.pdf](http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2016/Tresterk%20-%20trelast%20med%20h%C3%B8yere%20styrke%20og%20stivhet_2011-10.pdf) (Hentet: 29.01. 2021).
- FN-sambandet (2021a) *FNs bærekraftsmål* Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: 13.05. 2021).
- FN-sambandet (2021b) *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: 11.05 2021).
- FN-sambandet (2021c) *Ansvarlig forbruk og produksjon* Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon> (Hentet: 13.05. 2021).
- FN-sambandet (2021d) *Livet på land*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/livet-paa-land> (Hentet: 13.05.2021 2021).
- FN-sambandet (2021e) *Samarbeid for å nå målene* Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/samarbeid-for-aa-naa-maalene> (Hentet: 13.05. 2021).
- Foreningen norske Lauvtrebruk (2020) *Mekaniske egenskaper*. Tilgjengelig fra: <http://www.lauvtrebruk.no/pages/26> (Hentet: 18.02 2021).
- Håland, J. S. (2018) *Investerer 58 millioner for å sortere tømmer med røntgen*. Tilgjengelig fra: <https://www.ostlendingen.no/moelv/okonomi-og-naringsliv/nyheter/investerer-58-millioner-for-a-sortere-tommer-med-rontgen/s/5-69-603595> (Hentet: 23.02. 2021).

- Kretschmann, D. E. og Hernandez, R. (2006) *Grading timber and glued structural members* Tilgjengelig fra: [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-4393-7\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-4393-7_10) (Hentet: 14.03. 2021).
- microtec.eu (2021) *CT log*. Tilgjengelig fra: <https://microtec.eu/en/catalogue/products/ctlog/> (Hentet: 12.04. 2021).
- Moelven-Våler (2020) *Velkommen til Moelven Våler*.
- Moelven (2021a) *Om Moelven-konsernet*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/om-moelven/> (Hentet: 23.02. 2021).
- Moelven (2021b) *Organisasjonen Moelven*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/om-moelven/Organisasjonen-Moelven/> (Hentet: 23.02. 2021).
- Moelven (2021c) *Moelven Våler AS*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/om-moelven/divisjon-timber/moelven-valer-as/> (Hentet: 23.02. 2021).
- Moelven (2021d) *Gran og furu - våre råvarer*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/gran-og-furu--vare-ravarer/> (Hentet: 25.01. 2021).
- Norsk Treteknisk Institutt (1995) *Måling av tømmerkvalitet*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-24-del-1.pdf> (Hentet: 02.03. 2021).
- Norsk Treteknisk Institutt (2020) *CE-EN 14081*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/globalassets/certificates-and-policies/ce-en-14081---moelven-group---ce-certificate-1070-cpr-137.pdf> (Hentet: 25.01. 2021).
- Norske Limtreprodusenters Forening (2015) *Limtreboka*. Tilgjengelig fra: [https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka\\_2015\\_el2.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf).
- NTNU (2021) *Bruke referansestilen Harvard*. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/bruke+referansestilen+harvard> (Hentet: 10.05. 2021).
- Oja, J., Grundberg, S. og Källsner, B. (2005) *Predicting the strength of sawn wood products: A comparison between x-ray scanning of logs and machine strength grading of lumber*. Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:985800/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 02.03. 2021).
- Okstad, T. (1988) *Virkeegenskaper hos massevirke av gran (Picea abies L. Karst.) fra Midt-Norge*. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmloi/bitstream/handle/11250/2678272/Norsk-institutt-for-skogforskning-Rapport-1988-09.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 16.03. 2021).
- Pedersen, B. (2020) *Densitet*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/densitet> (Hentet: 01.02 2021).
- Sandaker, B. N., Sandvik, M. og Vik, B. (2017) *Materialkunnskap*.
- Skaug, E. (2020) *Trevirkets oppbygging og egenskaper*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/40-Trevirkets-oppbygging-og-egenskaper.pdf> (Hentet: 27.01. 2021).
- Standard Norge (2009) *NS-INSTA 142:2009* Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=428580> (Hentet: 29.01. 2021).
- Standard Norge (2012) *NS-EN 408:2010+A1:2012*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=592329> (Hentet: 19.04. 2021).
- Standard Norge (2013) *NS-EN 14080:2013*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=866055> (Hentet: 22.01. 2021).

- Standard Norge (2016) *NS-EN 338:2016* Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=824287> (Hentet: 22.01. 2021).
- Standard Norge (2019) *NS-EN 14081-1:2016+A1:2019* Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1105103> (Hentet: 25.01. 2021).
- Stemsrud, F. (1971) *Trevirkets kvalitet*. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2590624/Trevirkets%20kvalitet%20I%20%20av%20Finn%20Stemsrud.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 11.03. 2021).
- Sunding, P. (2020) *Furu*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/furu> (Hentet: 25.01 2021).
- Trefokus og Treteknisk (2007) *Trevirkets oppbygging og egenskaper* (Trefokus ): Treteknisk Institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/40-Trevirkets-oppbygging-og-egenskaper.pdf> (Hentet: 15.03.2021).
- Trefokus og Treteknisk (2012) *Konstruksjonsvirke* (FOKUS på tre): Treteknisk Institutt. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/43-Konstruksjonsvirke.pdf> (Hentet: 14.03.2021).
- Trefokus og Treteknisk (2004) *Tre og miljø*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/8-Tre-og-miljo.pdf> (Hentet: 16.03. 2021).
- Trefokus og Treteknisk (2011) *Gran*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/28-Gran.pdf> (Hentet: 16.03. 2021).
- Treteknisk (2021) *Audun Øvrum – ny adm. direktør på Treteknisk* Tilgjengelig fra:  
<http://www.treteknisk.no/aktuelt/audun-ovrum-ny-adm.-direktor-pa-treteknisk>  
(Hentet: 15.03. 2021).



# Vedlegg

## Innhold

Vedlegg 1: Rapport Dynagrademaskin .....	76
A) Fordeling styrkesortert tømmer .....	76
B) Produksjonsrapport grønt parti, densitet .....	76
C) Produksjonsrapport rødt parti, kvistavstand .....	77
D) Produksjonsrapport svart parti, kvistvolum .....	77
Vedlegg 2: Rapport bøyetest NTNU .....	78
A) Gjennomsnittlig densitet i kjerneved .....	78
B) Gjennomsnittlig kvistavstand .....	80
C) Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler .....	82
Vedlegg 3: Faktorer ved røntgensortering .....	84
Vedlegg 4: Møtereferater .....	102
A) Møte 9. september 2020 .....	102
B) Møte 28. september 2020 .....	103
C) Møte 6. november 2020 .....	104
D) Møte 10. november 2020 .....	105
E) Møte 9. februar 2021 .....	106
F) Møte 25. februar 2021 .....	107
G) Møte 4. mars 2021 .....	108
H) Møte 13. april 2021 .....	109
I) Møte 15. april 2021 .....	110
Vedlegg 5: Samtykker .....	111
A) Audun Øvrum, administrerende direktør i Treteknisk Institutt .....	111
B) Hans Marius Skjærstad, Produktsjef i Moelven Våler AS .....	112

# Vedlegg 1: Rapport Dynagrademaskin

## A) Fordeling styrkesortert tømmer

### Fordeling styrkesortert tømmer

Kvalitet	Farge	Sum stokker	Antall i kvalitet	%	Generelt inntrykk
Gjennomsnitt kvistvolum	Svart	1470	184	12,5 %	Stort sett bare rotstokk Mye krok / tennar
Densitet i kjerneved	Grønn	1299	165	12,7 %	Middeltømmer
Kvistavstand	Rød	1158	188	16,2 %	Hovedsakelig midtstokker med liten avsmaling
			537		

## B) Produksjonsrapport grønt parti, densitet



**MOELVEN**

### PRODUKTIONSRAPPORT

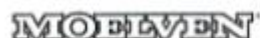
15.04.2021 12:29:41

Produksjon

Period 15.04.2021 12:21  
15.04.2021 23:59

Kvalitet	50	150	Gran / Produksjon / All							Volym (m3)			
			Antal	%	Medellængd [cm]	Medelkap [cm]	1	2	1+2	In	Ut	%	%
SF+VI 40-50x100-150	400	13	4,0	473,3	426,9	15,1	31,2	46,3	0,46	0,42	90,21	3,84	
VI 40-50x125-150	600	17	5,2	468,1	439,4	17,2	11,5	28,7	0,60	0,56	93,87	5,17	
VII	600	23	7,0	480,0	459,1	9,6	11,3	20,9	0,83	0,79	95,65	7,31	
Vrak	740	1	0,3	342,0	330,0	3,5	8,5	12,0	0,03	0,00	0,00	0,00	
Hugger	741	1	0,3	516,5	509,5	3,5	3,5	7,0	0,04	0,04	98,84	0,35	
T 15 Limtre	960	216	65,7	473,6	434,9	15,6	23,1	38,7	7,67	7,05	91,83	64,99	
T 22 Limtre	970	58	17,6	496,7	457,1	15,4	24,2	39,6	2,16	1,99	92,03	18,34	
50*150		329	100,0	477,6	440,4	15,1	22,1	37,2	11,78	10,84	92,00	100,00	
Summa 50		329							11,78	10,84	92,00		
Totalt		329							11,78	10,84		92,00	

## C) Produktionsrapport rødt parti, kvistavstand



### PRODUKTIONSRAPPORT

15.04.2021 12:18:17

Produktion

 Period 15.04.2021 12:00  
 15.04.2021 23:59

50	150	Gran / Produktion / All											
		Kvalitet	Antal		Medellängd [cm]		Medelkap [cm]			Volym (m3)			
			In	Ut	1	2	1+2	In	Ut	%	%		
SF+VI 40-50x100-150	400	21	5,6	493,8	454,3	9,8	29,7	39,5	0,78	0,72	92,00	5,47	
VI 40-50x125-150	600	4	1,1	497,3	427,5	11,1	58,7	69,8	0,15	0,13	85,96	0,98	
VII	600	16	4,3	483,9	468,8	7,5	7,6	15,1	0,58	0,56	96,87	4,30	
Hugger	741	1	0,3	519,8	512,6	3,7	3,5	7,2	0,04	0,04	98,61	0,29	
T 15 Limtre	960	262	69,9	490,0	462,2	11,5	16,2	27,7	9,63	9,08	94,34	69,48	
T 22 Limtre	970	71	18,9	505,6	477,9	8,9	18,8	27,7	2,69	2,54	94,52	19,47	
50*150	375	100,0		493,0	464,8	10,7	17,5	28,3	13,87	13,07	94,27	100,00	
Summa 50	375								13,87	13,07	94,27		
Totalt	375								13,87	13,07	94,27		

## D) Produktionsrapport svart parti, kvistvolum



### PRODUKTIONSRAPPORT

15.04.2021 12:44:45

Produktion

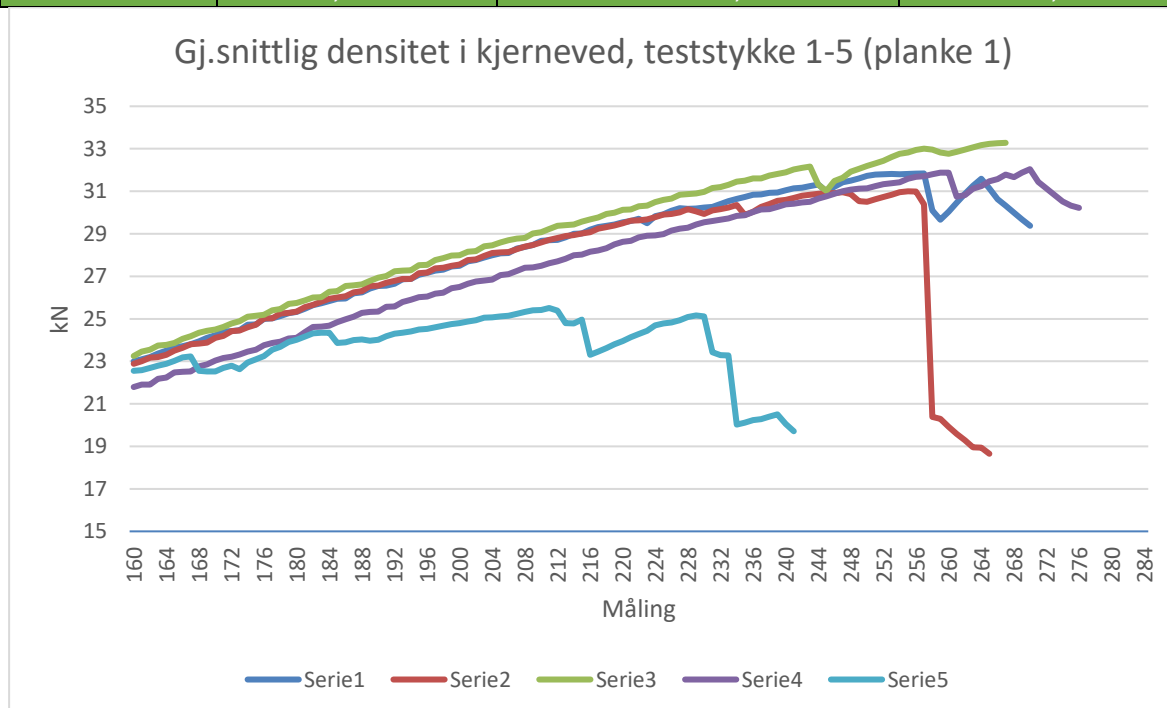
 Period 15.04.2021 12:30  
 15.04.2021 12:39

50	150	Gran / Produktion / All											
		Kvalitet	Antal		Medellängd [cm]		Medelkap [cm]			Volym (m3)			
			In	Ut	1	2	1+2	In	Ut	%	%		
SF+VI 40-50x100-150	400	12	3,2	462,9	417,5	19,9	25,5	45,4	0,42	0,38	90,20	2,96	
VI 40-50x125-150	600	18	4,7	511,0	466,7	10,7	33,6	44,3	0,69	0,63	91,32	4,97	
VII	600	43	11,3	471,5	451,4	9,6	10,5	20,1	1,52	1,46	95,73	11,48	
Hugger	741	4	1,1	437,9	423,7	3,5	10,7	14,2	0,13	0,13	96,76	1,00	
T 15 Limtre	960	181	47,6	481,0	441,7	10,7	28,7	39,3	6,53	6,00	91,83	47,28	
T 22 Limtre	970	122	32,1	489,2	447,7	13,4	28,1	41,5	4,48	4,10	91,51	32,30	
50*150	380	100,0		483,0	444,9	11,6	26,4	38,0	13,76	12,68	92,13	100,00	
Summa 50	380								13,76	12,68	92,13		
Totalt	380								13,76	12,68	92,13		

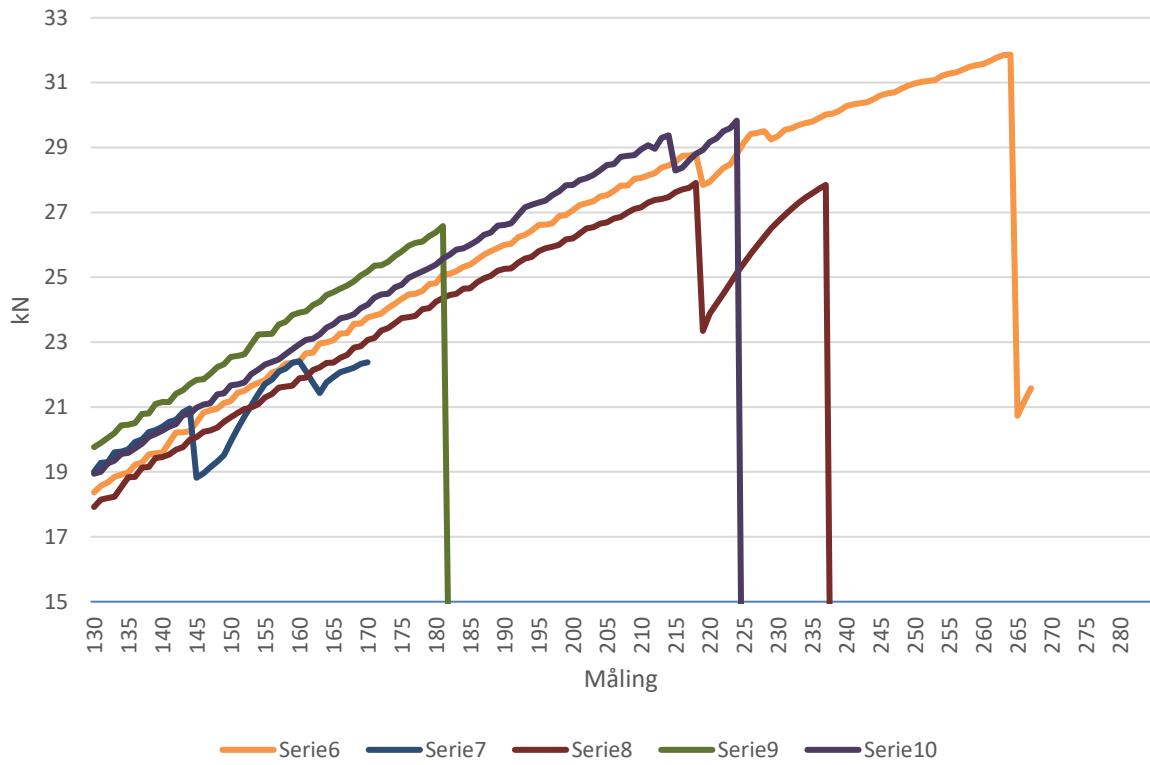
# Vedlegg 2: Rapport bøyetest NTNU

## A) Gjennomsnittlig densitet i kjerneved

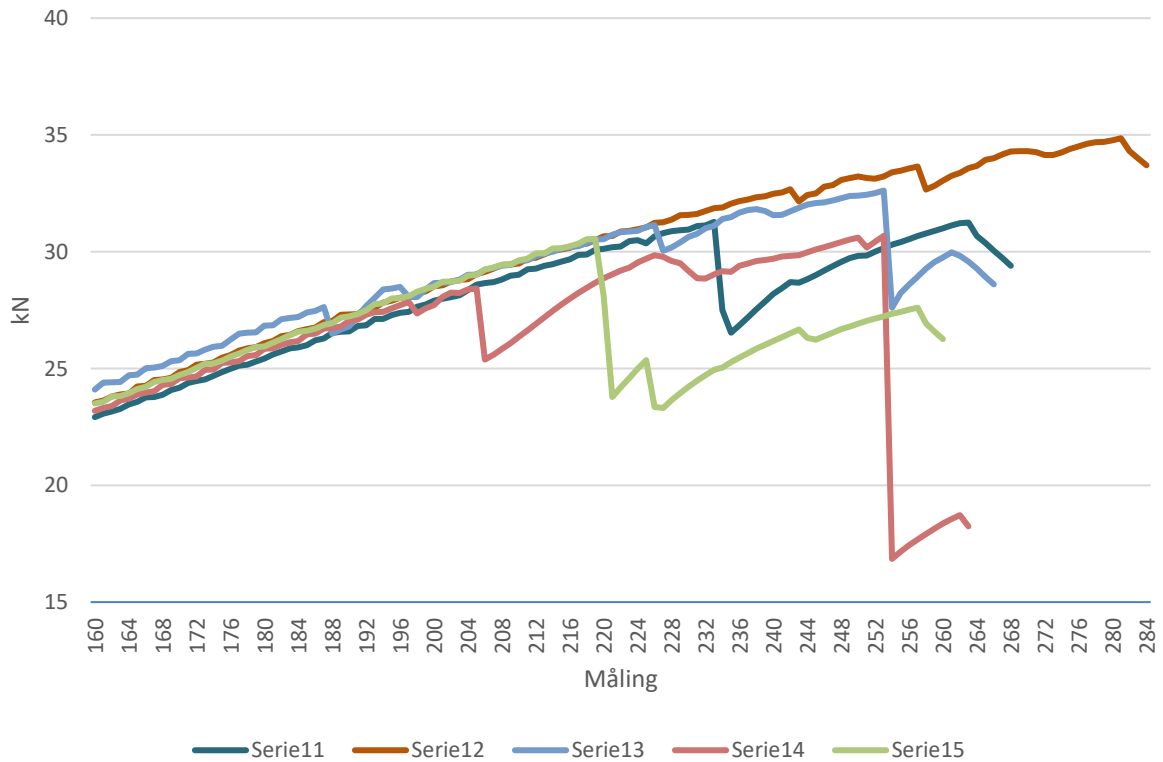
Verdier for gjennomsnittlig densitet i kjerneved			
Teststykke	Målt maks kN	Avleste verdier (kN)	Målt maks MPa
1	31,86	31,84	76,5
2	31,05	30,96	74,5
3	33,37	31,31	80,1
4	32,08	31,87	77
5	25,59	25,39	61,4
6	31,88	31,83	76,5
7	22,47	20,96	53,9
8	27,96	27,91	67,1
9	26,62	26,39	63,9
10	29,86	29,59	71,7
11	31,35	31,28	75,2
12	34,9	34,31	83,8
13	32,67	32,62	78,4
14	30,69	28,43	73,7
15	30,57	30,55	73,4
Snitt	30,19466667	29,68266667	72,47333333
Std.avvik	3,148845009	3,283767078	7,567339177



Gj.snittlig densitet i kjerneved, teststykke 6-10 (planke 2)

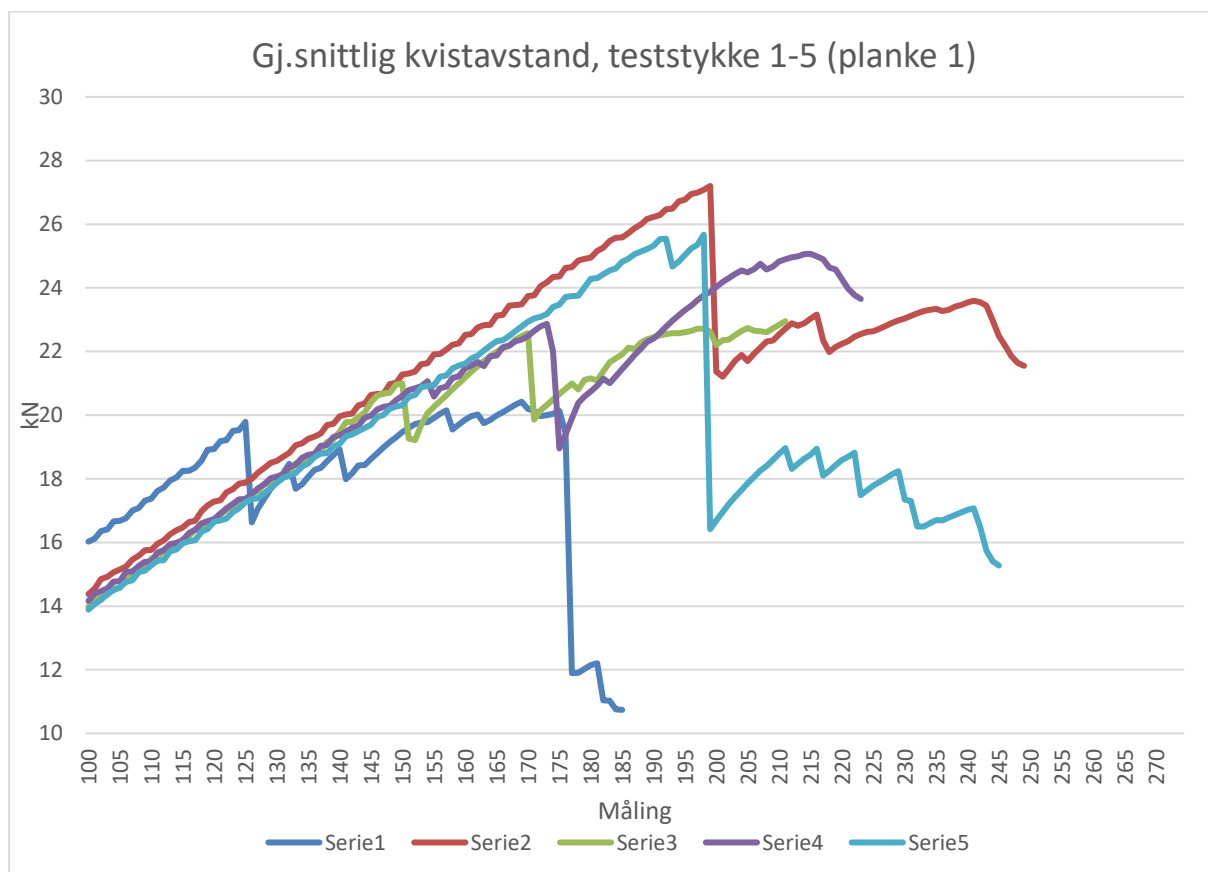


Gj.snittlig densitet i kjerneved, teststykke 11-15 (planke 3)

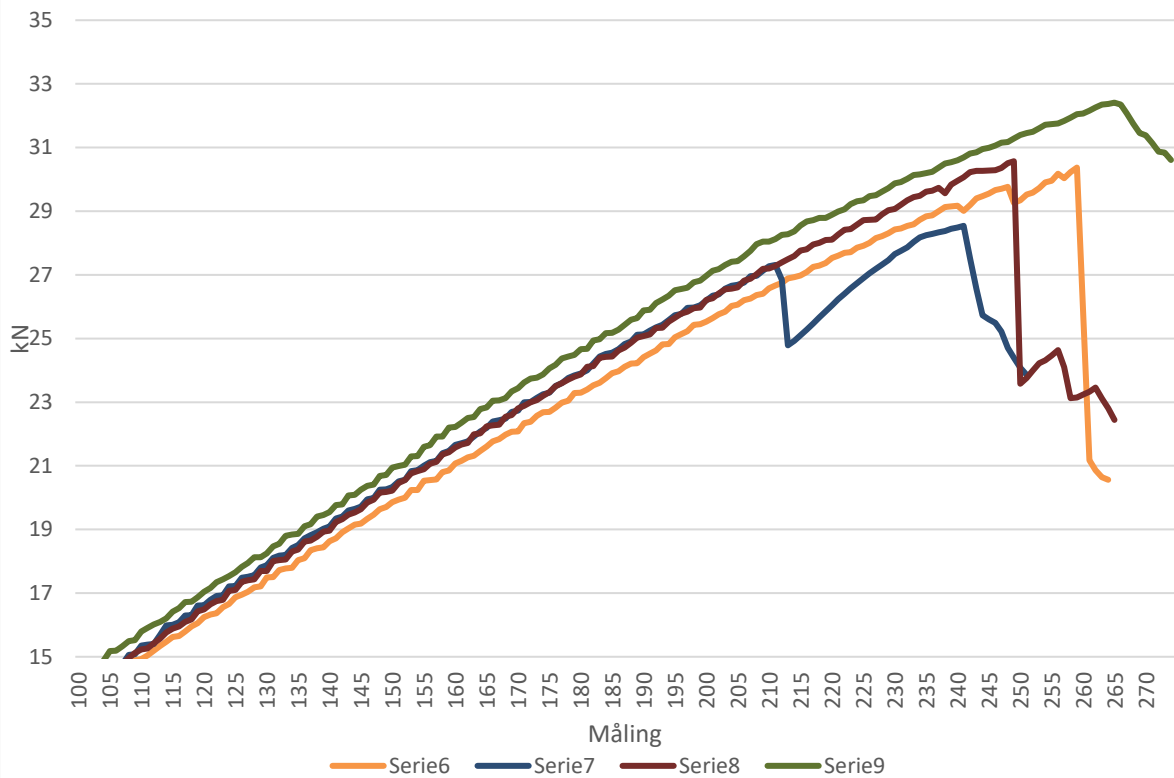


## B) Gjennomsnittlig kvistavstand

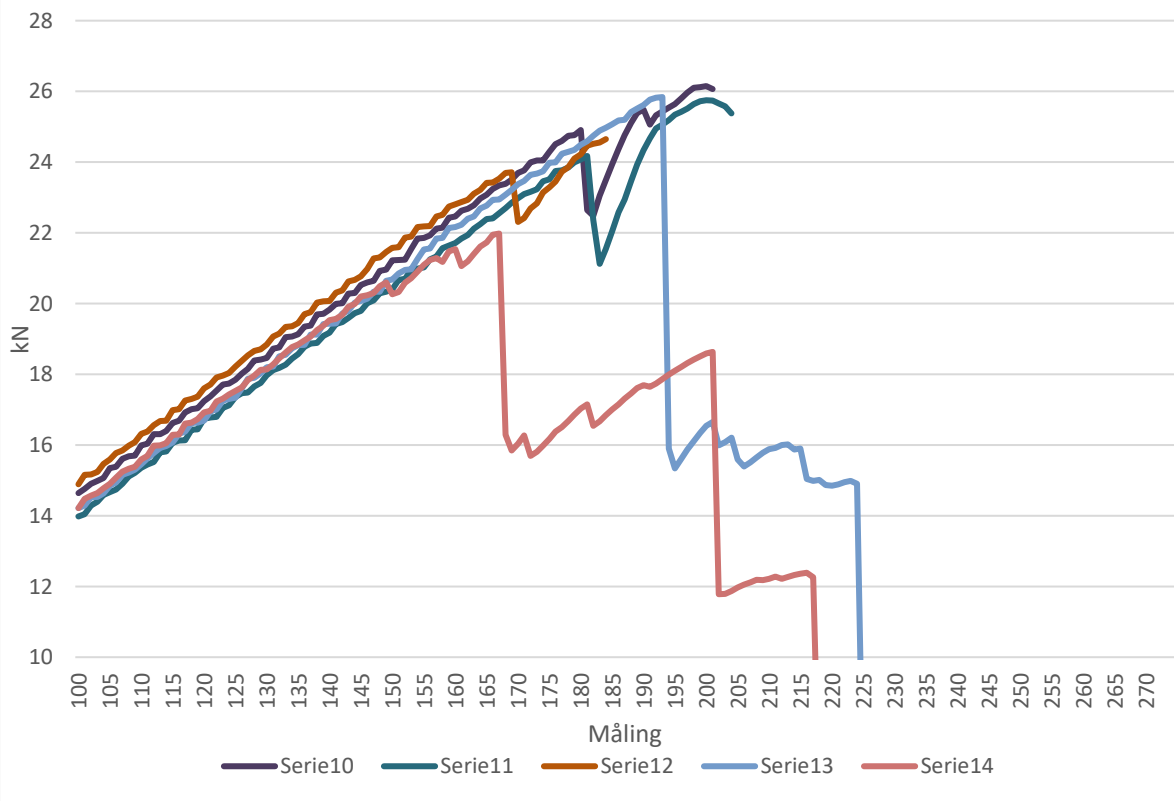
Verdier for gjennomsnittlig kvistavstand				
Teststykke	Målt maks kN	Avleste verdier (kN)		Målt maks MPa
1	20,48		19,79	49,2
2	27,25		27,08	65,4
3	23,04		21	55,3
4	25,08		22,79	60,2
5	25,97		25,67	62,3
6	30,45		30,37	73,1
7	28,56		26,85	68,5
8	30,59		30,57	73,4
9	32,42		32,07	77,8
10	26,16		24,91	62,8
11	25,76		24,17	61,8
12	24,66		23,71	59,2
13	25,89		25,84	62,1
14	22		21,98	52,8
<b>Snitt</b>	<b>26,30785714</b>		<b>25,48571429</b>	<b>63,13571429</b>
<b>Std.avvik</b>	<b>3,238677372</b>		<b>3,535098936</b>	<b>7,763431416</b>



Gj.snittlig kvistavstand, teststykke 6-9 (planke 2)

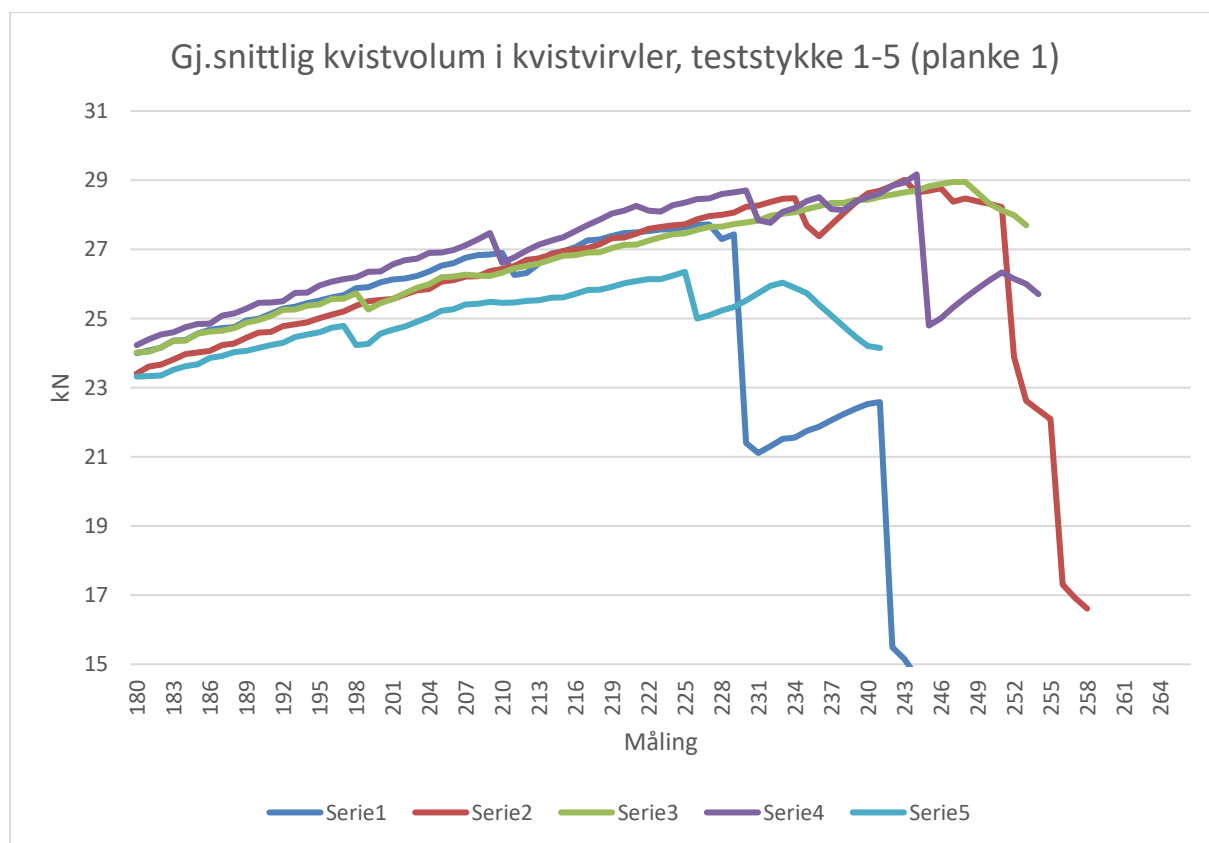


Gj.snittlig kvistavstand, teststykke 10-14 (planke 3)



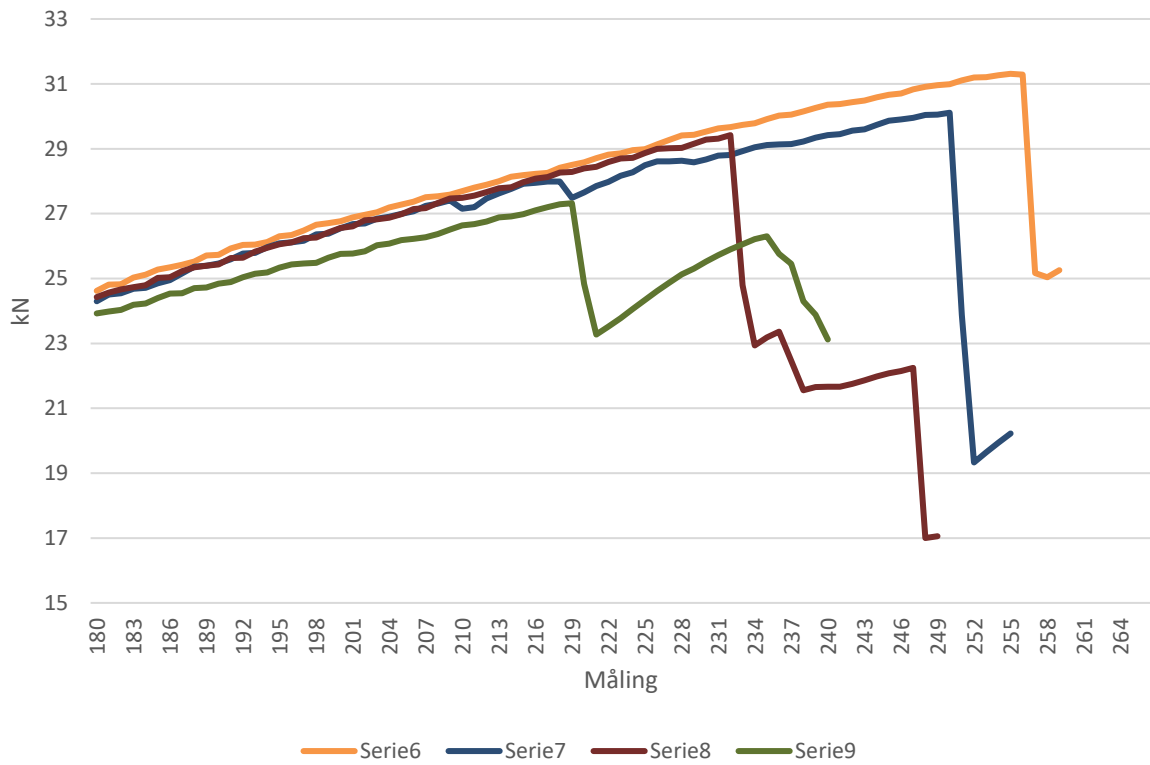
## C) Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler

Verdier for gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvler				
Teststykke	Målt maks kN	Avleste verdier (kN)		Mål maks Mpa
1	27,79		27,72	66,7
2	29,03		28,65	69,7
3	28,96		28,95	69,5
4	29,18		29,17	70
5	26,35		26,35	63,2
6	31,32		31,29	75,2
7	30,13		30,11	72,3
8	29,45		29,42	70,7
9	27,41		27,32	65,8
10	29,72		29,15	71,3
11	31,59		31,51	75,8
12	28,58		28,55	68,6
13	30,65		30,61	73,6
Snitt	29,24307692		29,13846154	70,18461538
Std.avvik	1,448306091		1,445357801	3,483333097

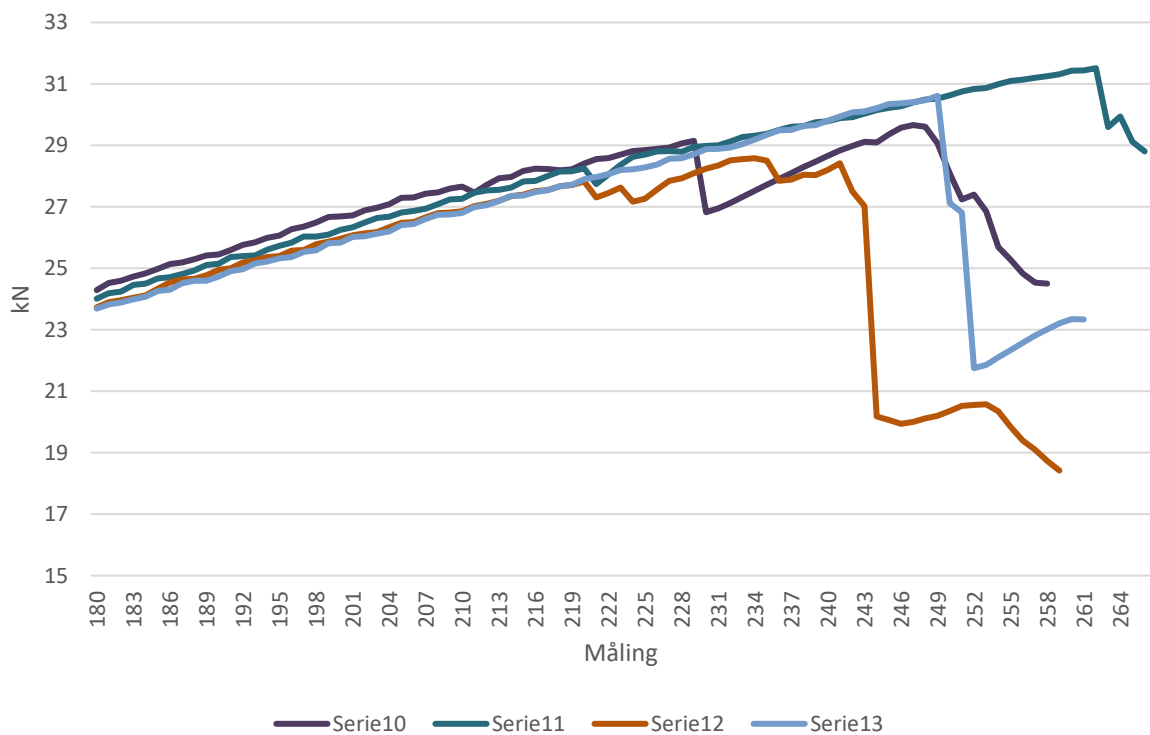




Gj.snittlig kvistvolum i kvistvirvler, teststykke 6-9 (planke 2)



Gj.snittlig kvistvolum i kvistvirvler, teststykke 10-13 (planke 3)



## Vedlegg 3: Faktorer ved røntgensortering

Her vises et lite utvalg stokker (Microtec stokk ID) og deres tilhørende verdier. Dette Excel-arket ble brukt til å simulere utbyttet T26 i Moelvns database over stokker.

Treslag	G
Sorteringsdiameter (MM)	(Flere elementer)

Faktor	Prosent
Tot. Ant. Stokker pivot	6537
% ved bruk av slicer	100
G10-prosent	3,922639336

	Gjennomsnitt	Standardavvik
Gj.snitt kjerneved densitet [kg/m3]	429,801132	36,876874
Gj.snitt kvistavstand [mm]	165,751721	29,35772603
Gj.snitt kvistvolum [cm3]	230,7344348	90,3433873
	Sorteringskrav	Utbytte i % (G10)
Gj.snitt kjerneved densitet [kg/m3]	466,678006	15,022
Gj.snitt kvistavstand [mm]	195,109447	14,73152822
Gj.snitt kvistvolum [cm3]	140,3910475	10,81

Gj,snitt Kvistavstan...	Gj,snitt kjerneved d...	Gj,snitt kvistvolu...
196	528	66
197	529	72
198	530	74
199	531	75
200	534	76
201	537	77
202	538	78
203	539	79
204	540	80
205	541	81
206	543	82
207	544	83
208	546	84
209	548	85
210	549	88
211	550	89

Microtec stokk ID	Stokk sekvensnummer	Dato	Kontrollstokk nummer	Kontrollstokk: 1/0 (ja/nej)	Treslag nummer	Treslag
5354300		4822 03.02.2021 10:15:52	0	0		2 G
5354301		4823 03.02.2021 10:15:54	0	0		2 G
5354302		4824 03.02.2021 10:15:56	0	0		2 G
5354303		4825 03.02.2021 10:15:58	0	0		2 G
5354304		4826 03.02.2021 10:16:00	0	0		2 G
5354305		4827 03.02.2021 10:16:02	0	0		2 G
5354306		4828 03.02.2021 10:16:04	0	0		2 G
5354307		4829 03.02.2021 10:16:06	0	0		2 G
5354308		4830 03.02.2021 10:16:08	0	0		2 G
5354309		4831 03.02.2021 10:16:10	0	0		2 G
5354310		4832 03.02.2021 10:16:11	0	0		2 G
5354311		4833 03.02.2021 10:16:13	0	0		2 G
5354312		4834 03.02.2021 10:16:15	0	0		2 G
5354313		4835 03.02.2021 10:16:17	0	0		2 G
5354314		4836 03.02.2021 10:16:19	0	0		2 G
5354315		4837 03.02.2021 10:16:21	0	0		2 G
5354316		4838 03.02.2021 10:16:23	0	0		2 G
5354317		4839 03.02.2021 10:16:25	0	0		2 G
5354318		4840 03.02.2021 10:16:27	0	0		2 G
5354319		4841 03.02.2021 10:16:29	0	0		2 G
5354320		4842 03.02.2021 10:16:32	0	0		2 G
5354321		4843 03.02.2021 10:16:33	0	0		2 G
5354322		4844 03.02.2021 10:16:35	0	0		2 G
5354323		4845 03.02.2021 10:16:38	0	0		2 G
5354324		4846 03.02.2021 10:16:39	0	0		2 G
5354325		4847 03.02.2021 10:16:41	0	0		2 G
5354326		4848 03.02.2021 10:16:43	0	0		2 G
5354327		4849 03.02.2021 10:16:45	0	0		2 G
5354328		4850 03.02.2021 10:16:47	0	0		2 G
5354329		4851 03.02.2021 10:16:49	0	0		2 G
5354330		4852 03.02.2021 10:16:51	0	0		2 G









Løttemnummer	Tømmervolum (DM3)	Norsk tømmervolum (DM3)	Sorteringsdiameter (MM)	VMF Topp diameter (MM)
32	203	203	189	204
35	185	185	184	196
35	189	189	185	199
29	204	204	176	202
17	447	447	348	370
31	93	93	135	144
44	289	289	237	262
23	103	103	144	153
38	240	240	213	228
34	202	202	194	206
23	97	97	138	149
23	89	89	142	153
41	136	136	153	163
50	359	359	263	283
35	184	184	185	197
31	110	110	135	146
23	121	121	144	155
23	106	106	149	161
23	121	121	141	151
44	312	312	235	257
32	206	206	190	208
23	125	125	149	160
19	506	506	330	351
56	463	463	298	315
23	99	99	149	161
25	155	155	158	169
23	138	138	146	165
27	158	158	169	182
54	438	438	287	309
23	109	109	147	156
25	134	134	164	181



VMF Topp diameter under bark (MM)	Barktykkelse VMF (MM)	Diameter 1 VMF (MM)	Diameter 2 VMF (MM)	Barkreduksjon (MM)
195	9	199	209	14
187	9	194	198	14
189	10	195	204	14
193	9	187	215	14
356	14	358	381	20
138	6	140	148	12
248	14	249	276	16
145	8	152	154	13
216	12	225	231	15
197	9	203	208	14
141	8	146	153	13
146	7	150	157	13
156	7	160	165	13
267	16	280	287	17
188	9	195	199	14
138	8	143	149	12
147	8	152	157	13
154	7	155	165	13
144	7	148	153	13
246	11	245	270	16
196	12	202	214	14
153	7	156	165	13
338	13	344	357	19
302	13	312	321	18
152	9	157	164	13
161	8	167	170	13
156	9	156	172	13
173	9	178	188	14
294	15	302	313	18
150	6	151	159	13
171	10	175	188	14

Minste av Dia,1 og 2 uten bark	Stokk lengde (MM)	Stokkende Diameter (MM)	Krok	Pilthøyde	Midt diameter	Avsamling (mm/m)
184	5295	290	2	10	210	74
180	5288	220	1	6	200	48
180	5374	230	3	14	210	66
172	5305	270	2	11	210	58
338	4046	510	8	28	380	77
127	4742	170	3	15	150	80
233	5044	320	2	12	280	106
139	4655	190	3	12	150	48
209	5270	280	2	11	230	47
188	5276	270	1	7	220	90
133	4440	190	1	5	170	136
137	4133	180	2	8	160	80
147	5281	230	2	10	170	78
263	5372	330	1	7	310	127
180	5269	250	1	8	210	80
130	5368	190	1	9	170	118
139	5276	210	3	17	160	53
142	4343	190	2	11	170	90
135	5263	170	2	11	160	56
228	5383	290	3	14	270	77
187	5360	230	1	5	220	68
142	4961	200	1	6	170	75
324	4981	460	3	13	360	86
294	5362	360	5	24	340	111
144	4115	180	3	12	170	87
153	5369	190	3	15	170	39
142	5343	190	2	10	180	76
164	5049	220	3	17	200	125
284	5388	350	0	3	320	98
138	4437	180	2	10	170	79
161	4413	220	4	18	200	123

Avsmaling fra midt til rotende (mm/m)	Ovalitet	Stokkretning	Barkandel (%)	Barkandel topp (%)	Rotavsmaling	Min, Kvistavstand (mm)
441	5	1	95	99	33	56
94	3	0	95	92	11	42
91	4	1	96	96	4	70
332	17	0	92	92	34	63
1109	5	1	94	99	34	56
76	8	0	95	91	9	63
166	6	0	97	96	12	63
314	5	1	95	96	35	56
334	3	0	96	96	27	63
335	4	0	96	93	27	42
54	4	1	96	97	1	56
91	3	0	96	97	13	63
307	4	0	95	94	37	49
96	3	1	96	96	3	70
247	4	0	95	91	18	56
82	6	1	95	96	4	77
296	5	0	96	97	27	77
229	7	0	95	93	16	49
89	4	1	92	93	17	63
54	8	0	94	91	0	91
67	7	0	95	97	3	84
174	3	1	94	92	13	56
550	4	1	91	97	29	56
118	3	1	94	97	3	56
72	4	0	96	97	2	49
48	4	0	94	94	3	49
68	8	0	95	93	3	63
76	4	1	95	95	4	70
61	2	1	95	96	0	70
57	5	1	96	96	4	42
76	7	1	96	96	12	133

Maks, Kvistavstand (mm)	Gj.snitt Kvistavstand (mm)	Antall Kvistkranser (stk)	Gj.snitt maks Kvistdiameter (mm)
280	147	35	22
294	107	49	7
287	160	32	21
238	140	37	18
294	141	27	28
301	145	32	18
315	181	27	47
287	129	34	13
259	151	34	7
245	113	46	20
343	149	29	20
280	146	28	22
161	95	52	7
371	187	27	40
273	142	37	15
308	181	29	32
364	159	31	14
287	142	30	22
308	147	35	16
539	236	22	41
406	183	28	22
322	133	37	10
441	141	32	25
483	188	27	37
294	153	26	15
315	147	36	18
266	145	37	20
350	168	29	28
595	228	23	31
413	144	29	23
399	245	18	33

Gj.snitt kvistvolum i Kvistvirvler (cm <sup>3</sup> )	Maks Kvist diameter (mm)	Kvistvolum [	Toppdiameter kjerneved (mm)	Kjerneved avsmalning ((mm/10)/m)
165	55	25	97	66
95	29	26	95	0
232	54	36	108	77
171	36	30	117	56
401	62	20	212	305
152	48	48	75	89
463	68	38	147	112
111	30	38	98	48
138	19	19	147	21
166	61	34	94	59
138	47	37	42	104
130	44	39	82	4
88	19	31	111	32
471	57	30	149	118
145	32	27	108	63
214	82	48	53	102
116	45	29	86	0
130	45	36	116	0
136	39	42	66	66
492	64	32	169	109
247	45	32	97	88
109	28	33	74	19
292	61	16	212	87
480	58	26	245	41
116	33	30	66	53
149	48	38	89	63
156	55	40	85	44
224	60	37	84	85
632	64	31	199	120
166	53	45	66	71
287	59	35	101	111

Kjerneved volum	Gj.snitt densitet (Kg/m <sup>3</sup> )	Åringsbredde (mm/10)	Toppbrudd	Toppbrudd posisjon (cm)	Fremmede objekter i stukk	----Internal
258	677	22	0	0	0	3038
191	708	22	0	0	0	2748
335	640	30	0	0	0	2880
351	623	22	0	0	0	3123
454	512	28	0	0	0	5429
332	629	57	0	0	0	2235
369	604	33	0	0	0	3804
398	599	42	0	0	0	2148
365	638	22	0	0	0	3272
225	679	22	0	0	0	3068
205	668	34	1	130	0	2307
237	685	47	0	0	0	2235
407	579	46	0	0	0	2492
333	630	32	0	0	0	4133
329	639	22	0	0	0	2913
226	698	40	0	0	0	2336
220	693	51	0	0	0	2318
351	657	53	0	0	0	2382
289	680	55	0	0	0	2154
489	571	27	0	0	0	3653
281	654	22	0	0	0	3061
209	686	48	0	0	0	2369
385	617	39	0	0	0	5079
524	504	42	0	0	0	4586
183	713	33	0	0	0	2340
348	660	38	0	0	0	2389
264	650	47	0	0	0	2527
244	678	22	0	0	0	2796
477	524	40	0	0	0	4389
211	678	66	0	0	0	2329
360	616	22	1	344	0	2813

----internal2	----internal3	----internal4	Rot	Toppbruddindeksverdi	Gj.snitt Intern-kvistvirvel	distanse (mm)	Ytterved denstet i toppen (Kg/m3)
2686	2893	3650	0	35	93	642	
2622	2714	2876	0	32	57	791	
2675	2858	3090	0	73	100	781	
2819	3047	3528	0	49	83	787	
4994	5157	6078	0	69	78	637	
2016	2228	2411	0	42	89	738	
3516	3765	4141	0	38	123	754	
2027	2092	2340	0	35	75	730	
3025	3167	3651	0	46	94	782	
2767	2952	3520	0	33	61	785	
2038	2295	2531	0	83	95	750	
2039	2230	2421	0	47	93	790	
2233	2451	2915	0	15	44	752	
3777	4079	4462	0	31	121	758	
2637	2900	3148	0	29	89	775	
2017	2354	2595	0	26	120	784	
2097	2271	2654	0	50	107	763	
2200	2351	2513	0	48	96	798	
1998	2154	2267	0	37	91	798	
3403	3641	3883	0	24	171	751	
2840	3062	3260	0	24	123	763	
2134	2302	2595	0	48	82	750	
4689	4844	5882	0	58	83	763	
4228	4525	4922	0	47	130	726	
2195	2353	2467	0	31	101	772	
2252	2381	2543	0	66	93	800	
2298	2521	2720	0	28	91	792	
2486	2779	3063	0	45	104	787	
4116	4350	4632	0	38	158	740	
2129	2313	2509	0	19	91	747	
2521	2822	3054	0	81	173	777	

% med kvistfri lengde	XRAY_Big Knot in H,D, probability	God lengder (%)	Minimum Intern-kvistavstand (mm)	Maksimum Intern-kvistavstand (mm)
42	50	77	14	224
25	0	99	7	182
43	52	72	14	189
37	4	94	21	189
36	75	97	7	252
40	21	55	7	245
50	100	40	21	245
37	0	90	7	238
41	0	100	7	210
27	52	82	7	189
43	27	51	7	287
41	12	50	21	217
20	0	100	7	98
49	90	80	21	322
40	2	95	7	224
48	100	5	28	203
48	8	88	42	315
45	18	60	7	245
40	4	73	14	238
59	99	58	35	469
50	24	81	35	343
38	0	94	7	259
42	55	97	7	385
54	93	88	14	441
47	1	84	7	252
40	22	69	7	259
39	62	55	7	210
43	89	42	21	280
56	97	84	7	553
44	54	45	7	364
56	83	42	21	322



Kvistsvelling	Gj.snitt volum kvistvirvel topp (cm3)	Gj.snitt volum kvistvirvel midten	Gj.snitt volum kvistvirvel bunn
33	167	173	157
8	99	92	94
31	228	237	230
26	209	160	150
34	509	387	327
26	140	152	160
55	474	567	379
13	137	117	84
8	153	169	104
16	171	185	133
18	122	128	158
30	110	115	172
10	105	87	70
30	560	454	438
17	231	141	98
42	227	217	198
15	101	119	124
42	156	171	93
19	120	186	123
58	537	434	498
22	321	225	208
8	144	101	97
38	413	278	201
42	439	440	539
15	101	101	158
27	104	132	231
33	139	176	152
31	253	216	209
35	691	736	507
18	281	105	183
39	213	351	314

Kjerneved avsmaling topp-midt ((cm/10)/m)	Kjerneved avsmaling midt-rot ((cm/10)/m)	Gj.snitt ytterved densitet (Kg/m <sup>3</sup> )
54	73	786
0	0	796
87	70	771
49	162	746
0	282	733
88	73	722
91	124	760
66	0	696
10	29	771
41	71	775
80	100	723
0	33	768
46	84	689
124	108	767
77	54	769
114	88	772
6	14	746
29	0	758
0	70	781
116	106	748
85	92	759
37	26	761
51	103	763
94	24	712
57	49	783
68	52	789
93	40	762
101	67	780
111	118	741
65	77	751
94	126	781

Gj.snitt kjerneved densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Min, densitet gjennom kjerneved (kg/m <sup>3</sup> )	Snitt kvistkransvolum (Top/Rot)[%]
454	558	106
484	598	105
439	532	99
473	508	139
318	411	156
480	511	88
415	501	125
462	489	163
461	532	148
467	580	129
522	560	77
499	568	64
441	473	149
424	519	128
443	534	236
503	567	115
555	597	81
517	556	168
486	556	98
414	474	108
455	542	154
503	584	148
444	511	205
356	410	81
518	602	64
470	548	45
451	540	92
444	562	121
337	417	136
486	571	153
408	479	68

# Vedlegg 4: Møtereferater

## A) Møte 9. september 2020

### Møtereferat 09.09.2020

Møte på Braskereidfoss, Våler, hos Moelven Våler AS

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Knut Berg, Lars Grøtta

Følgende ble diskutert:

- Det ble forsøkt å finne aktuelle kontaktpersoner til oppgaven vår. Kontakter hos både Moelven Limtre og Norsk Treteknisk Institutt ble nevnt.
- Problemstilling: se på C40-lameller til bruk i limtre?
  - Hvilke kvaliteter er aktuelle for Moelven Limtre?
- Hvordan passer røntgenmaskinas funksjon til problemstillingen?
- Litteratur: bruksanvisning til Microtec røntgenramme, standarder

## B)Møte 28. september 2020

### Møtereferat 28.09.2020

Møte i Moelv, hos Moelven Limtre

**Deltakere:** Vetle Løchting, Åge Holmestad, Rune Abrahamsen

Følgende ble diskutert:

- Formulering av problemstilling: se på produksjon av C40/T26lameller ved hjelp av røntgenutstyret på Braskereidfoss
- Se på muligheten til å plukke ut høyere kvalitet tidlig i produksjonsløpet
  - Prediksjon av styrke
  - Én stokk er ofte av samme kvalitet → ta ut de dårlige stokkene før de blir saget
- «Forskyve» 5-percentil-kurven, slik at en større andel tømmer kan regnes som høyere kvalitet
  - Mye penger i det å selge/bruke høyere kvalitet i tømmeret
- Kartlegging av hva røntgen brukes til pr. dags dato
  - Kvist → mulig å se på densitet?
  - Brukes røntgen kun til å ta ut panel ved å se på diameter?
  - Sorteres det ut noe som helst kvalitet i dag? Høre med produksjonsansvarlig hos Moelven Våler
- Testprosedyre:
  - Teste en ferdigprodusert serie basert på verdier fra røntgenskanningen, for så å teste kvaliteten. Hvor mange testserier/-planker?
  - viser røntgenbildene noe spesielt for teststykkene med høy kvalitet?
  - Mulighet for å vise/teste densitet? Antatt sterk indikator
    - Måle ved å veie manuelt?
- Litteratur:
  - NS-EN 14080:2013, NS-EN 14081
  - Standarder for limtre, produksjon etc.

### Noen ekstra notater:

Sende e-post til Moelven Våler for å finne svaret på noen av spørsmålene vi sitter med

## C) Møte 6. november 2020

### Møtereferat 06.11.20

Møte på skype.

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Knut Berg, Lars Grøtta

Følgende ble diskutert:

- Ønsker fra limtreavdeling å gå ned i høyde på limtre lameller, og er derfor avhengig av sterkere trevirke.
- Prosjektet må være økonomisk fornuftig for at Moelven skal kunne bruke røntgenmaskin til å sortere ut sterkere trestykker tidlig i sorteringsfasen. *Dette bør være en del av oppgaven?!*
- Muligheter for å se åringbredde og fiberlengde i røntgenmaskin, får også opp verdi for densitet.
- Vi må se på limtreteori, limtreboka? I tillegg til røntgenrammer.
- Ser for seg å ta ut f.eks 50 tømmerstokker i et prøveparti i forsøket.
- Det er mulig å se på databasen til Moelven som allerede finns og deretter simulere hvor mange tømmerstokker som kan overholde krav til T26.
- 1. Skritt framover er å se på visuelle krav til T15, T22 og spesielt T26, i tillegg til densitetskrav. Deretter prøve å oversette til tømmer røntgenspråk
- 2. Skritt vil være å samles med Moelven, og legge inn data i røntgenmaskin og deretter velge ut stokker.

#### Noen ekstra notater:

T15 og T22 de mest vanlige klassene.

Se på finskansystem og Presigrader system (måler densitet), nettside: [dynamyse.com](http://dynamyse.com)

Ulike standarder

Optimal vokselengde for et tre er 1,5m i året

## D) Møte 10. november 2020

### Møtereferat 10.11.20

Møte på teams.

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Jan Steinar Egenes

Følgende ble diskutert:

- Prøve å koble på testing av limtre ++, veldig bra for oppgaven
- Se opp mot klassisk måte å sortere trevirke, visuell
- Fremdrift. Starte med å få kontroll over standarder og teori
- Opprette teams med Jan S slik at vi har en kommunikasjonskanal, og han kan legge til ekstra stoff som han sitter på
- Finne ut hvor vi kan teste? (NTNU, treteknisk, moelven)?
- Se på figur i Bell, mekaniske egenskaper

#### Noen ekstra notater:

Godt fornøyd med retning på oppgave

Gruble videre med problemstilling

## E) Møte 9. februar 2021

### Møtereferat 09.02.21

Møte på teams.

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Jan Steinar Egenes

Følgende ble diskutert:

- Ser på oversettelsen fra tømmerspråk til røntgenramme
- Ser på ulike tabeller og standarder og finner ut av hva som gjelder for oppgaven vår
- Jan Steinar skal kontakte en bekjent (Ove, avdelingsleder?) i treteknisk for å høre om mulighet til å få tilgang til mer info rundt tresterkprosjekt, evt også hvilke rammer som har blitt satt i det prosjektet.
- Veien videre;
  - Stoppe litt opp i ren skriving å bruke litt tid til å tenke
  - Se på hva konklusjonen på oppgaven skal være
  - Spisse problemstillingen
  - Undersøke om Bell har noe relevant stoff

**Noen ekstra notater:**

Spørsmål vi kan stille oss selv!

- Hva ønsker Moelven egentlig at vi skal finne ut av?

Hvis noen spør oss når vi er ferdig med oppgaven;

- Hva kom dere frem til?
- Hva ville dere finne ut av?
- Fikk dere det svaret dere ønsket?

Hva ønsker vi å svare?

Om vi ikke kan svare på dette, vet vi da hvor vi skal å hva vi skal skrive om?



## F) Møte 25. februar 2021

### Møtereferat 25.02.2021

Møte på Moelven Våler

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Hans Marius Skjærstad

Følgende ble diskutert:

- Sortere ut klasse 10 gran, 194-199 sorteringsdiameter! (Granklasser fra 10-26)
- Prate med Audun Øvrum, har tidligere drevet forskning i tresterkprosjektet med C40. Høre hvilke parametersammensetninger vi skal ha på røntgenmaskina på 1-4 bach.  
(Evt Per Otto Flæte)

Eks. Kan se på bare årringbredde

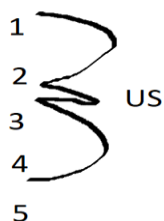
Eller bare densitet

Eller skal man kombinere flere parametere?

- Når tømmer er sortert, kommer vi tilbake til Våler og er med på banking, deretter ta med noen prøver av plank og teste i bygglab på NTNU.
- Prate med Åge Holmestad (limtre) om de er interessert i produktet, kan ikke pushe T26 om de ikke ønsker det.
- Hans Marius sender noen dokumenter fra C40 sorteringa i 2016.
- Vi skal simulere resultatet av parametersammensetningen, deretter se i praksis.
- Må ha parameterne klar og sendt til Hans Marius innen uke 11 (15-19 mars)

**Noen ekstra notater:**

Visuell sortering:



6 (Dårligste sort, omtrent 7-9 %)

75-80% går til T15-T22

## G) Møte 4. mars 2021

### Møtereferat 04.03.2021

Møte på teams

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Audun Øvrum

Følgende ble diskutert:

- Hvilke parametere det er viktigst å sortere på. Snakker om blant annet Avsmaling, densitet, kvistvolum i kvistvirvel, kvistavstand, bonitet, årringbredde
- Anbefalingen fra Øvrum ble disse seriene:
  - Gj.snittlig kvistvolum i kvistvirvler ( gjerne med tømmer fra 200-400moh. Og 17-20 bonitet)
  - Gj.snittlig densitet i kjerneved
  - Gj.snittlig kvistavstand
- Ikke være for kresen når grensene skal settes
- Gjøre en statistisk analyse ved hjelp av database i Excel
- Audun foreslår individsproing i forsøket dersom dette er mulig (Det er i etterkant bekreftet umulig i praksis)

**Noen ekstra notater:**

- Densitet som teller, ikke årringbredde
- Umulig å se toppbrudd på røntgenmaskin
- Geografi er viktig når det gjelder styrke på trær

## H) Møte 13. april 2021

### Møtereferat 13.04.2021

Møte på Teams/Gjøvik

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Jan Steinar Egenes

Følgende ble diskutert:

- Oppgavens struktur og innhold
  - Tillatelse til bruk av navn i oppgaven
  - IMRoD
  - Metode og teori
    - Limtre
  - Case og materialer
- Sammendrag av sorteringsanlegg til Jan S
- Testprosedyre hos Moelven Våler
- Formålet med oppgaven

**Noen ekstra notater:**

Ser stort potensiale i oppgaven (:

4

## I) Møte 15. april 2021

### Møtereferat 15.04.21

Møte hos Moelven Våler AS

**Deltakere:** Vetle Løchting, Ørjan Haugen, Hans Marius Skjærstad

Følgende ble diskutert:

- Var der og hentet teststykker til labtesting, var med og kontrollerte ved dynagrademaskin.  
Velger ut 3 planker fra hvert parti, og deler opp alle i 4-5 mindre deler slik at de passer bøyetestmaskina ved NTNU.
- Hvordan vi skal se på resultatet fra dynagrademaskina
  - måle mot andelen T14
  - Se på partiet mot hverandre
- De har farget en farge på hvert parti, noe vi viderefører i oppgaven:
  - Grønn: Gjennomsnittlig densitet i kjerneved
  - Rød: Gjennomsnittlig kvistavstand
  - Svart: Gjennomsnittlig kvistvolum i kvistvirvel

# Vedlegg 5: Samtykker

## A) Audun Øvrum, administrerende direktør i Treteknisk Institutt

SV: Spørsmål om personvern

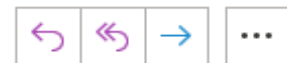


Audun Øvrum <aov@treteknisk.no>

Til Vetle Løchting

Kopi Ørjan Haugen

Du svarte på meldingen 17.03.2021 13:41.



17.03.2021

Bare oppgi navnet mitt, og takk for at dere spør!

Mvh  
Audun

---

**Fra:** Vetle Løchting <[vetlelo@stud.ntnu.no](mailto:vetlelo@stud.ntnu.no)>

**Sendt:** onsdag 17. mars 2021 09:45

**Til:** Audun Øvrum <[aov@treteknisk.no](mailto:aov@treteknisk.no)>

**Kopi:** Ørjan Haugen <[orjah@stud.ntnu.no](mailto:orjah@stud.ntnu.no)>

**Emne:** Spørsmål om personvern

Hei!

Takk for hjelp med å velge ut parametere til oppgaven vår!

Vi lurte på om det er greit at vi oppgir navnet ditt i oppgaveteksten, og bruker samtalen vår som referanse? (Dette er mest formelt, for å ha personvern på det rene) 😊

Mvh.  
Vetle og Ørjan

## B) Hans Marius Skjærstad, Produksjef i Moelven Våler

AS

**From:** Skjærstad, Hans Marius <[hans-marius.skjerstad@moelven.no](mailto:hans-marius.skjerstad@moelven.no)>  
**Sent:** Thursday, April 29, 2021 7:48 AM  
**To:** Ørjan Haugen <[orjah@stud.ntnu.no](mailto:orjah@stud.ntnu.no)>  
**Subject:** SV: Spørsmål bacheloroppgave

Hei!

Densitet – inntrykk av middeltømmer: Så ut som normal blanding av midtstokker og rotstokker

Kvistavstand: Bare midtstokker.

Grantømmer kappes gjerne i 4 stokker ved sluttavvirkning hvis det er en god bestand ( lang skog). Dårligere 2-3 stokker

1 rotstokk  
2 midtstokker  
1 toppstokk – min dia i toppen 13 cm under bark  
Over dette kvaliteten slip som går til cellulose

Klasse 10 som ble benyttet i forsøket, er i prinsipp enten rot eller midtstokk. Diameteren er for stor til at den er en toppstokk.

Det er greit at mitt navn blir nevnt i oppgaven.

Hvis det er fler spørsmål så kom med dem?

Hilsen  
Hans M.

---

