



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp  
Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT)

# **Potensiale ved bruk av trevirke med ulike kvaliteter i norsk massivtreproduksjon**

Potential of Using Timber with Different Strength  
Classes in Norwegian CLT-Production

Andreas Stenstad  
Industriell Økonomi





## Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på det 5-årige sivilingeniørprogrammet Industriell Økonomi ved Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet. Oppgaven er skrevet høsten 2016, og har et arbeidsomfang på 30 studiepoeng.

Jeg knyttet interesse til dette temaet da fokuset rundt å bygge fleretasjes hus i tre begynte å vokse i Norge, og særlig da studentboligene på Pentagon i Ås ble bygget. Videre har jeg hatt en rekke forelesere som har frontet bruk av trekonstruksjoner på en god måte.

Gjennom en slik oppgave har jeg lært mye god kunnskap om treindustrien i Norge, og jeg håper at min oppgave er av interesse for de som skal satse stort på massivtre i Norge – med norsk trevirke.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min veileder Anders Bjørnfot som har bidratt med mye god kunnskap rundt emnet og konstruktive tilbakemeldinger. Jeg ønsker også å takke doktorgradsstipendiat Anders Nygård for god hjelp underveis i studiet.

En stor takk rettes også til informantene som gladelig stilte opp til intervju med imøtekommenhet og gode synspunkter.

Til slutt ønsker jeg å takke alle medstudenter på TF211 for gode samtaler og kaffepauser. Jeg vil også takke Mannskoret Over Rævne, min mor og far, og min bror for god støtte og omtanke under et krevende studie.

Ås, desember 2016

---

Andreas Stenstad

## Sammendrag

Massivtre har med sin økte popularitet, gode styrkeegenskaper og korte byggetid, kunne konkurrere med tradisjonelle byggematerialer som stål og betong de siste årene. Det er også snakk om å starte en større produksjon av dette i Norge – med norsk trevirke.

Massivtre blir i dag hovedsakelig satt opp av trekvaliteten C24 (Brandner, 2013). Det finnes dog økonomiske vinster ved å utnytte råmaterialet på en bedre måte.

Målet med denne oppgaven er å finne ut: ”Hva er potensialet ved å benytte trevirke av ulike kvaliteter i norsk massivtreproduksjon?” Knyttet til dette hovedmålet ble det også utarbeidet fire delmål: **1.** Hvilke muligheter finnes for å utnytte råmateriale til massivtre på en best mulig måte? **2.** Hvordan kan riktig bruk av sorteringstatistikk bidra til økonomisk vinst? **3.** Hvordan vil bøyestivheten endre seg i forhold til hvilke kvaliteter som inngår i et massivtreelement? **4.** Hvilke utfordringer ligger til grunn ved bruk av flere trekvaliteter?

For å kunne svare på problemstillingen ble det i utgangspunktet tatt hensyn til teori, som viste seg å være mangelfull. Videre metodisk tilnærming ble derfor et intervjustudie av informanter i norsk treindustri for å tette hullene i teorien, samt å kunne besvare delmålene som leder til problemstillingen. I tillegg ble det innhentet statistikk fra et sagbruk som ble brukt videre i analysen.

Resultatene bærer preg av personlige aspekter, men at det er enighet om at det finnes et potensiale i benyttelse av ulik trekvalitet i et massivtreelement. Informantene er enige i at det også er et potensiale å benytte seg av dårlig virke, også kalt reject, men med visse begrensninger. Sagbrukstatistikken viser at det oppstår en viss mengde reject fra ulike sorteringer, og at hovedgrunn til nedklassing er for lav E-modul.

Analysen viser at man kan få et tynnere element med samme bøyestivhet som C24 ved riktig bruk av sortering, og dermed utnytte råmaterialet på en bedre måte.

Konklusjonen til oppgaven er at utsortert C30 sammen med den rejecten som oppstår har et potensiale i å få en høyere utnyttelsesgrad av et parti råmaterialer, enn hva utsortert C24 har. Dette kan bidra til et sterkere element med lavere råstoffkostnader.

## Abstract

Cross laminated timber (CLT) has with its increasing popularity, good structural properties and short on-site construction process, been able to compete with building materials like steel and concrete the last couple of years. Now it has also come to discussion to start big-scale production of CLT in Norway – with Norwegian timber. CLT is today most common set up with strength class C24 (Brandner, 2013). However, there are of economic interest to exploit the raw material in a better way.

The objective of this thesis is to find out: "What is the potential of using timber with different strength classes in Norwegian CLT production?" Linked to this main objective, four questions are defined: 1. What opportunities are present to exploit the CLT raw material in the best possible way? 2. How can the correct use of statistics of lumber sorting provide economical value? 3. How will the bending stiffness change due to the set up of different strength classes in a CLT-element? 4. What challenges underlie the use of timber with different strength classes?

In order to answer this issue, the research was initially based on theory, which proved to be inadequate. Further methodological approach was therefore an interview study of informants from the Norwegian timber industry to close the gaps in the theory and to answer the specific objects leading to the main object of the thesis. In addition, statistics from a sawmill was gathered for further analyse.

The results have personal aspects, but there is an agreement that using different strength classes in CLT has a potential. The informants also agree that using reject-material has a potential, but with some limitations. The statistics from the lumber sorting shows that a certain amount of reject-material occurs, and that the main reason for downgrading is due to low value of modulus of elasticity.

The analysis shows that there is a possibility of producing a thinner element, but with same bending stiffness as C24, thereby exploit the raw material in a better way.

The conclusion of this thesis is that sorted C30 set up with the occurring reject-material has a potential of higher utilization of a batch of timber than C24. This can lead to a stronger element with lower raw material costs.

# Innhold

<b>FORORD</b>	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>INNHold</b>	<b>IV</b>
<b>1 INNLEDNING</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Målsetting	4
1.3 Avgrensing	5
1.4 Disposisjon	6
<b>2 TEORI</b>	<b>7</b>
2.1 Styrkesortering	7
2.2 Produksjon av CLT	9
<b>2.3 Styrke- og fasthetsegenskaper i massivtre</b>	<b>10</b>
2.3.1 Mechanically Jointed Beams Theorem/Gamma-metoden	12
2.3.2 Shear Analogy Method	14
<b>2.4 Syntese av teorien</b>	<b>17</b>
<b>3 METODE</b>	<b>18</b>
3.1 Forskningsstrategi	18
3.2 Forskningsmetoder	18
3.2.1 Kvalitative- og kvantitative metoder	18
3.2.2 Anvendt metode i oppgaven	19
3.3 Datainnsamling	19
3.4 Strategi for analyse	20
3.5 Reliabilitet, validitet og generalisering	21
<b>4 RESULTATER</b>	<b>22</b>
4.1 Intervjuer	22
4.2 Oppsummering av intervjuer	25
4.3 Sorteringstatistikk	26

<b>5</b>	<b>ANALYSE</b>	<b>28</b>
5.1	Beregning av effektiv bøyestivhet, $EI_{\text{eff}}$	28
5.1.1	Mechanically Jointed Beams Theorem/Gamma-metoden	28
5.1.2	Shear Analogy Method – Beregning av bøyestivhet	34
5.2	Oppsummering av resultater fra beregning av $EI_{\text{eff}}$	41
5.3	Optimalisering av element basert på statistiske sorteringsdata fra sagbruk	42
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON</b>	<b>49</b>
6.1	Resultatets betydning for norsk massivtreproduksjon	50
<b>7</b>	<b>LITTERATURLISTE</b>	<b>51</b>
	<b>FIGURLISTE</b>	<b>I</b>
	<b>TABELLISTE</b>	<b>II</b>
	<b>VEDLEGG A – Sorteringstatistikk fra sagbruk</b>	<b>III</b>

# 1. INNLEDNING

## 1.1 Bakgrunn

Dagens massivtreproduksjon baserer seg for det meste ved bruk av én kvalitet, som er C24 (Brandner, 2013). Dette er et problem da det finnes store økonomiske vinster ved å bedre kunne utnytte råmaterialet. De ulike typene sorteringer som eksisterer gjør at en stor andel virke med tilstrekkelig kvalitet blir tatt ut av produksjonen. Dette gjelder særlig kvaliteten som blir kalt reject, utlegg, eller på norsk fagspråk; 6-sort.

Skogbruk er en næring som har sterke røtter og tradisjoner i Norge. Andelen av skog på fastlandsarealet i Norge ligger på 38%, noe som tilsvarer 122 000 km<sup>2</sup>. Av dette er 86 600 km<sup>2</sup> skogareal som klassifiseres som produktivt (Regjeringa.no). Norge har i tillegg en god tilvekst av trevirke på 25 millioner m<sup>3</sup> årlig hvor tilvekst av gran står for halvparten av dette. Til sammenligning blir det utvunnet om lag 10 millioner m<sup>3</sup> årlig (Regjeringa.no). Norge har med andre ord et godt utgangspunkt for å kunne utnytte skogen i enda større grad.

Selv om massivtre, eller CLT (Cross Laminated Timber) kan ses på som et relativt nytt produkt som byggemateriale, så har det fått et solid fotfeste særlig i Mellom-Europa, og ulike aktører innen byggebransjen i nordiske land har vekket interessen for dette produktet som byggemateriale (Aarstad et. al. 2011).

Massivtre består av trelameller krysslimt på hverandre til elementer. Krysslimt vil si at hvert lag limes 90 grader på det forrige. Måten dette materialet er satt sammen på bidrar til et dimensjonsstabilt element som lar seg prefabrikkere i store lengder til bruk som dekke- og veggelementer (Mohammad et. al. 2012). Lamellene som inngår i elementet er som regel limt (Figur 2), men kan også festes sammen ved hjelp av skruer, spiker og tredybler. Slike festemidler er mer vanlig å bruke i kantstilte elementer, der lamellene er stående (Figur 1). I krysslågte elementer er lim det mest vanlige å bruke. (Aarstad et. al. 2011 )



*Figur 2: Kantstilt element satt sammen med skruer, Norsk Massivtre*



*Figur 1: Krysslimt massivtre, Moelven*

Etter å ha oppstått tidlig på 90-tallet, har massivtre utviklet seg til å bli et anerkjent materiale til bruk i bolighus, studentboliger, fleretasjeshus, skoler osv. Figur 3, 4 og 5 viser noen eksempler på dette. Massivtre har også en rekke fordeler når det kommer til både økonomi grunnet kort montasjetid, god styrke tross lav vekt, høy fleksibilitet med tanke på montering, kort byggetid, og ikke minst en byggeprosess med lavt CO<sub>2</sub> utslipp (Aarstad et. al. 2011).



*Figur 3: Hytte i massivtre av osp i Tinn, foto: Norsk Massivtre*



*Figur 4: Studentboliger på Ås, foto: Erik Burås*



*Figur 5: Ulsmåg skole i Bergen, foto: Ola Henning Målsnes, 2015*

Antall lag er som regel i odde antall, hvor 3,5 og 7 lag er mest vanlig. Denne måten å lime lamellene på, gir elementet gode fysiske egenskaper både inn og ut av planet, og styrken og stivheten som oppnås gjør at massivtre kan konkurrere med mer tradisjonelle materialer som betong og stål (Brandner, 2013). Dette kommer av at denne høye styrken og stivheten i flere retninger vil gjøre at man kan bygge i flere etasjer.

Treverk er som kjent et materiale hvor form og dimensjoner endres mye i forhold til fuktnivå. Når man derimot krysslimer lamellene vil elementet bli mer dimensjonsstabil fordi trefibrene kommer vekselvis på tvers og langs lengderetningen (Sutton et. al. 2011).

Massivtre kan benyttes som både gulv, tak og vegger med både bærende og ikke-bærende egenskaper. Gran er den tresorten som benyttes mest, men andre treslag som eik, furu, ask og osp kan også benyttes (Norsk Massivtre, u.å).

Når det kommer til produksjon av dette elementet er det bare noen få aktører som har klart å få frem et standardisert produkt som de kan selge videre i stort antall. I Europa er det særlig Østerrike som har kommet veldig langt med denne produksjonen, hvor produksjon av massivtre har blitt tilnærmet standardisert (Brandner, 2013). Dette vil si at produksjonen følger et fast oppsett av kvaliteter og dimensjoner. Da industrien i Norge ikke er stor nok for å bygge massivtrebygg i stor skala, blir elementene for eksempel importert fra Østerrike (Kunøe, 2014).

Mye tyder på at massivtreproduksjon er på vei for fullt i Norge. Dette innebærer at analyse knyttet til råstoffet må prioriteres, da råstoffkostnaden vil være en stor del av den totale kostnaden knyttet til produksjon av massivtre.

Norge er et godt utgangspunkt med tanke på massivtreproduksjon, både med tanke på store mengder tømmer, nærliggende sagbruk (særlig på Østlandet), samt en økt etterspørsel etter miljøvennlige måter å bygge på. Siden råstoff-forbruket i massivtreproduksjon er meget høyt, er riktig utnyttelse av dette et viktig økonomisk mål (Kilde, 2004).

Videre vil stivheten til elementet være en dimensjonerende egenskap ved produksjon av massivtreelementer. Brandner (2013) skriver at: *“..the optimisation of stiffness is an economical valuable target”*.



## **1.2 Målsetting**

Målet med denne oppgaven er å undersøke potensialet for best mulig utnyttelse av råmateriale til norsk massivtreproduksjon . Oppgaven vil derfor ha følgende problemstilling:

”Hva er potensialet ved å benytte trevirke av ulike kvaliteter i norsk massivtreproduksjon?”

Får å nå målet i denne oppgaven vil det bli besvart 4 forskningsspørsmål som nærmere vil kunne bidra til en konklusjon som besvarer målet ved studiet.

1. Hvilke muligheter finnes for å kunne utnytte råmateriale til massivtre på en best mulig måte?
2. Hvordan kan riktig bruk av sorteringstatistikk bidra til økonomisk vinst?
3. Hvordan vil bøyestivheten endre seg i forhold til hvilke kvaliteter som inngår i et massivtreelement?
4. Hvilke utfordringer ligger til grunn ved bruk av flere trekvaliteter?

### 1.3 Avgrensning

Selv om mange treslag kan være aktuelle å benytte til bruk i massivtre, vil det i denne oppgaven bli fokusert på norsk gran (*Picea Abies*). Dette er av den grunn at norsk treindustri har store ressurser av dette, i tillegg er det det råstoffet i dag som er aller mest brukt i massivtreelementer.

Videre vil oppgaven nevne ulike faktorer som inngår i Europeiske standarder når det kommer til ulike krav som settes til et massivtreelement. Dette gjelder for eksempel andeler av ulike kvaliteter, dimensjoner på bord, fuktnivå, bruk av lim osv. Analysen av oppgaven ser bort fra regler knyttet til tillatt dimensjon på bord og hvilke kvaliteter som kan inngå i et massivtreelement. Grunnen til dette er for å få en mer åpen analyse uten mange begrensninger, hvor de ulike fysiske egenskapene som inngår i elementet blir satt i fokus.

Når det kommer til styrkeberegning av elementer med et ulikt oppsett av kvaliteter, vil det bli fokusert på effektiv bøyestivhet,  $(EI)_{eff.}$ . Grunnen til at dette fokuseres på er at ved lange spenn vil opptredende vibrasjoner og nedbøyninger være en mer dimensjonerende faktor enn hvorvidt elementet går i brudd.

Sett i verdikjedens perspektiv, vil oppgaven ta for seg leddet fra sagbruk til massivtrefabrikk, men eventuelle andre produksjonskostnader som oppstår på massivtrefabrikken vil ikke blitt tatt hensyn til. Grunnen til at denne delen av verdikjeden blir fokusert på, er at mye tyder på at dette er et lite dokumentert tema samtidig som at problematikken rundt råstoffet til massivtre vil være et viktig punkt for en kostnadseffektiv verdikjede.

## **1.4 Disposisjon**

Innholdet i denne oppgaven vil bli presentert i følgende rekkefølge:

### 1. Innledning

Innledningen vil ta for seg bakgrunnen for bruk av massivtre som byggemateriale, og vil videre komme inn på målet og problemstillingen for oppgaven. I tillegg nevnes det hvilke avgrensninger som er gjort ved gjennomføring av studiet.

### 2. Teori

Teorien i oppgaven vil ta for seg elementer som inngår i massivtreproduksjon, samtidig som den vil kartlegge faktorer som inngår i sagbruksortering og fastsettelse av trekvaliteter.

### 3. Metode

Her vil metodene som er anvendt for å kunne nå målene som er satt i oppgaven bli presentert.

### 4. Resultater

Her vil resultatene fra intervjuene som er gjort bli presentert. I tillegg kommenteres det på de statistiske tallene som kommer fra sagbruk.

### 5. Analyse

Her vil resultatene analyseres, og presentert teori vil ligge til grunn.

### 6. Konklusjon

Her vil problemstillingen besvares. I tillegg følger refleksjoner om arbeidet som er gjort, og om videre arbeid.

## 2. Teori

### 2.1 Styrkesortering

Treverket som blir brukt til produksjon av massivtre i dag blir styrkesortert og deretter gradert etter NS-EN 338 – konstruksjonstrevirke - fasthetsklasser. Denne standarden viser karakteristiske styrke- og stivhetsklasser, samt densitetsverdier for konstruksjonsvirke, se tabell 1.

Klasser NS-EN 338	Bøye- fasthet N/mm <sup>2</sup>	Elastisi- tets- modul kN/mm <sup>2</sup>	Densitet kg/m <sup>3</sup>
C14	14	7	290
C18	18	9	320
C24	24	11	350
C30	30	12	380

Tabell 1: Karakteristiske verdier for de mest brukte fasthetsklassene i NS-EN 338. Øvrum (2012)

Når det kommer til sortering av trevirke på sagbruk, foregår dette i første omgang ved bruk av maskiner. Ved maskinell styrkesortering av massevirke til massivtre kan ulike systemer benyttes. Eksempler kan være maskiner som "Techmach" og "Computermatic", som måler sammenhengen mellom stivhet og fasthetsegenskaper (Myhra, 1999) og "Dynagrade" og "Precigrade" –systemene, hvor små slag fra en pendel treffer bordenes kortende som skaper vibrasjoner i treverket og mikrofoner vil deretter fange opp denne vibrasjonen og angi en styrkeverdi i form av bordets E-modul (Dynalyse, u.å) og samtidig angi bordets densitet. Precigrader er dessuten et nyere system som angir E-modul og densitet med en større nøyaktighet enn "Dynagrade" (Dynalyse, u.å).

Ved bruk av dette sorteringssystemet, kan man på forhånd velge hvilken kvalitet man ønsker å få ut av sorteringen. Mest benyttede kvaliteter som sorteres ut er C18, C24 og C30 (Dynalyse, u.å). Virke som ikke tilfredsstillende den ønskede kvaliteten man tar ut kalles reject, utlegg, eller 6-sort. Slikt virke kan tas ut av flere årsaker som vil si at kvaliteten på treverket ikke tilfredsstillende de kravene som er satt i maskinen. Dette kan

for eksempel være for lav densitet, for lav E-modul, eller at bordet har for mye kvist. Andelen reject som oppstår av sorteringen kan variere, hvor skogens bonitet kan spille en rolle. Dette er et tall på produksjonsevnen til skogen (NIBIO, u.å)

Treverket som blir sortert på sagbruk sorteres også visuelt. Dette gjøres i henhold til NS-INSTA 142, som er en nordisk standard for visuell styrkesortering. Maskinene som utfører den maskinelle styrkesorteringen vil som regel greie å fange opp de groveste fiberforstyrrelsene, da særlig kvist, men biologiske skader, deformasjoner og tennar må sorteres visuelt da dette ikke blir plukket opp av maskinen (Øvrum, 2012). Standarden har derfor visuelle krav til omfanget av de styrkereduserende egenskapene. For eksempel vil C30 ha strengere krav til størrelse på kvist enn hva C24 har.

Ved bruk av denne standarden blir treverket fordelt inn i klassene T3, T2, T1 og T0, der T3 er beste kvalitet. Tabell 2 viser korresponderende fasthetsklasser i forhold til NS-EN 338.

<b>Sorteringsklasser i NS-INSTA 142</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>Fasthetsklasser i NS-EN 338</b>	<b>C14</b>	<b>C18</b>	<b>C24</b>	<b>C30</b>

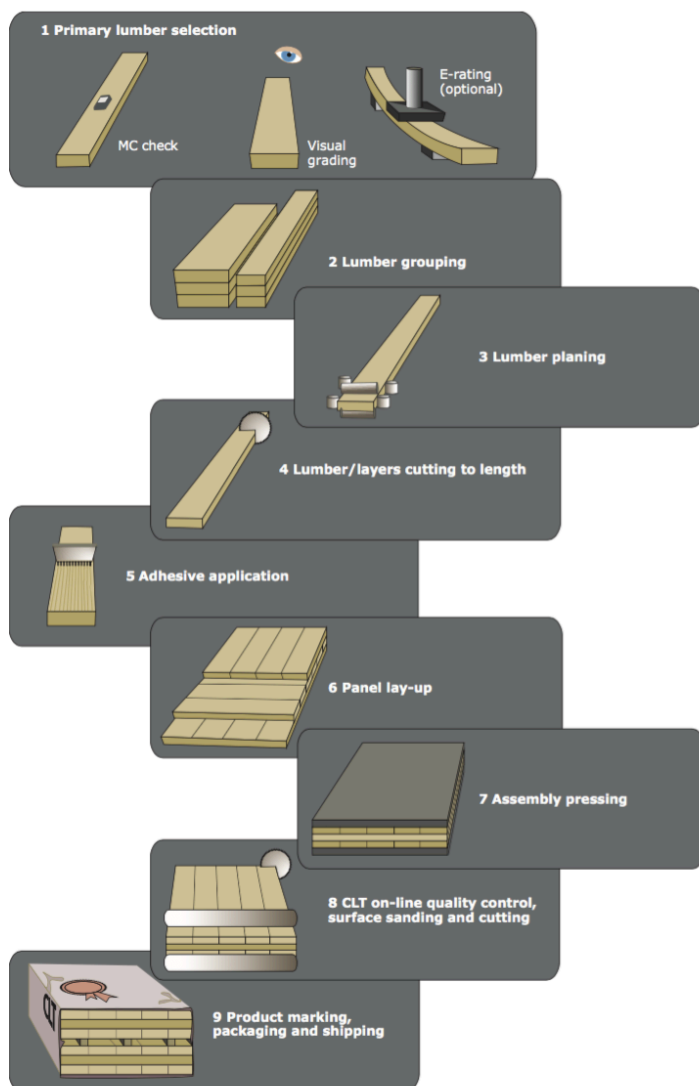
*Tabell 2: Sorteringsklasser i NS-INSTA 142 med korresponderende fasthetsklasser i NS-EN 338, (Myhra 1991)*

Ved visuell sortering kan man få mer homogene materialer som kan ha høyere kapasitet på bøyning ut av planet, og skjærdeformasjoner inn i planet grunnet noe strengere krav som ikke maskiner alltid plukker opp (Brandner, 2013). Visuell sortering er også mer aktuelt hvis man har en ordre som ønsker materialer med lite kvist for eksempel. Dette blir mer en estetisk faktor, og gjelder som oftest for ytterlamellene som kan bli synlige i rommet.

## 2.2 Produksjon av CLT

I dag blir massivtre produsert i henhold til NS-EN 16351, som er en standard med krav til krysslimt massivtre, hvor det er visse regler som må oppfylles. Dette går bl.a. på hvilke tresorter som kan benyttes i elementet, samt anbefalinger til dimensjoner på bordene som inngår i elementet. For eksempel anbefaler standarden at bredden på bordene bør være  $b \geq 4 * t$ . Dette er på grunn av opptredende rulleskjærkrefter mellom lagene (Brandner, 2013). Rulleskjær oppstår som en følge av skjærspenninger og skjærdeformasjoner, og virker på tvers av fibre. Utover dette kan bordenes mål utgjøre mange forskjellige dimensjoner, etter ønske fra massivtreprodusenten. Den mest vanlige kvaliteten å benytte seg av er C24 hvis man skal ha en homogen oppsetning, hvis ikke kan C16/C18 benyttes i midterste lag. Noen tekniske godkjenninger godtar derimot en viss andel (normalt 10%, eller 30%) av den neste lavere kvaliteten i samme lag (Brandner, 2013). Videre kan det nevnes at hvis en lamell har en høyere styrkereduserende egenskap enn sine nabolameller, er det lite sannsynlig at dette vil virke inn på elementet sin totale styrkeegenskap, da det er lite trolig at nabolamellene vil ha samme virkesfeil i samme tverrsnitt (Kilde, 2004).

Med bord til bruk i massivtre ønsker man et fuktinnhold på 12 +/- 2 % (Brandner, 2013). Bord som vrir seg eller har et ugunstig krymp etter dette kan også velges å tas ut. Bordene blir deretter sendt til fabrikk hvor man først fingerskjøter flere bord til lameller for å oppnå større lengde, for å kunne få et større spenn på elementene. Maks lengde på dette spennet er 16,5 m (Brandner, 2013), og bredden varierer fra 2,40m til 2,95 m. Man vil deretter overflatebehandle bordene for å oppnå riktig dimensjon, samtidig som det fordrer bedre heft av limet som senere skal påføres. Bordene blir deretter lagt lagvis, hvor hvert lag er 90 grader på det forrige. Antall lag varierer ut ifra hvor det skal benyttes, og med tanke på hvor sterkt og stivt det skal være. Motstand i forhold til lyd, vibrasjoner og brann kan også være med på å bestemme tykkelsen. Normalt vil bærende elementer være noe tykkere og med flere lag enn ikke-bærende elementer. Det limes mellom hvert lag. Mens limet herder vil elementet bli presset sammen for at limet skal fordele seg mest mulig utover. Man vil deretter gå over elementet igjen og se om ytterligere overflatebehandling er nødvendig, man tilpasser og skjærer kanten til elementet for så å skjære ut hull til dører og vinduer, om ordren gjelder for prefabrikkerte elementer. Figur 7 viser de ulike trinnene som inngår i produksjonen av et massivtreelement.



Figur 6: De ulike trinnene som inngår i produksjon av et CLT-element (Karacebeyli, kapittel 2 s. 5)

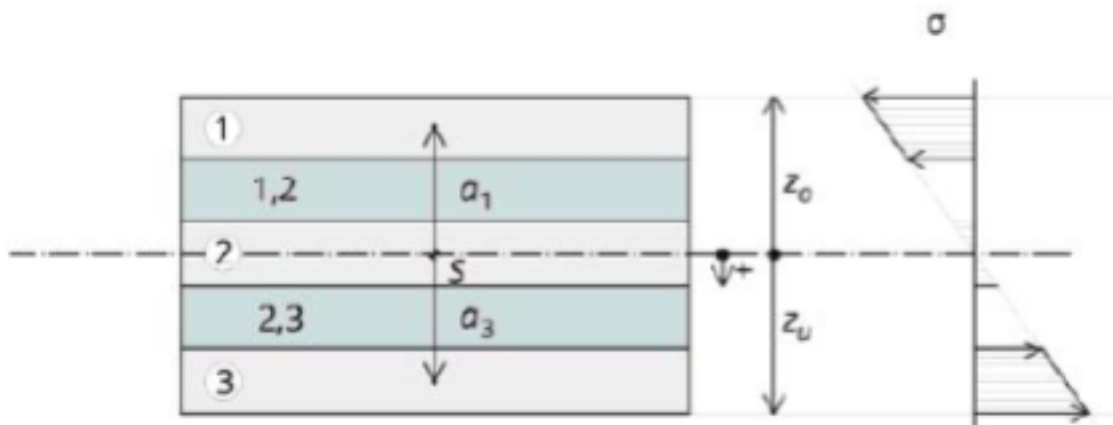
### 2.3 Styrke- og fasthetsegenskaper i massivtre

I grunnleggende dimensjonering i Europa, utføres dette med hjelp fra henvisningen som er gitt i Eurokodene. Ved hjelp av sikkerhetsfaktorer og tilleggsregler som er gitt i nasjonale vedlegg, skal man kunne utføre en analytisk dimensjonering på en tilfredsstillende måte (Wallner-Novak et.al. 2014). Målet med en slik dimensjonering er å kartlegge motstandsevnen mot opprettede uønskede grensetilstander.

Når det kommer til skjærkapasitet, er det særlig da rulleskjær som er dimensjonerende i massivtre. I motsetning til vanlige oppstående skjærkrefter som virker langs med fiberretningen, vil rulleskjæret oppstå vinkelrett på fiberretningen. Ut i fra tester vil rulleskjæret normalt ligge på 18-28% av maks opprettede skjærkraft (Forest Products

Laboratory, 2010, 5-15), selv om Aarstad et. al. (2011) skriver at rulleskjærfastheten er omtrent halvparten av skjærfastheten i fiberretning. Videre hevder Mestek. et. al.(2008) at rulleskjærkapasiteten kan settes lik 10% av skjærkapasiteten,  $G_R = G_{mean}/10$ .

Bæreevnen til et massivtreelement med bøyepåkjenninger ut av planet blir hovedsakelig bestemt av motstandsevnen til de ytterste lagene parallellt med fiberretningen (Brandner, 2013). Se for øvrig figur 7. I mange tilfeller, særlig der elementene skal benyttes som gulvelement, bør dimensjonerende egenskap være stivhet og ikke styrke. Siden dårligere kvaliteter i de midterste lagene gjør elementet mer fleksibelt når det kommer til skjærdeformasjoner, benyttes helst bruksgrensetilstand for å beregne nedbøyning og vibrasjoner over lange spenn, i stedet for hvorvidt elementet går i brudd. Beregning av stivhet kombinert med å sikre overholdelse av minstekrav til styrke kan være et konstruktivt mål, samt bidra til økonomisk lønnsomhet (Brandner, 2013).



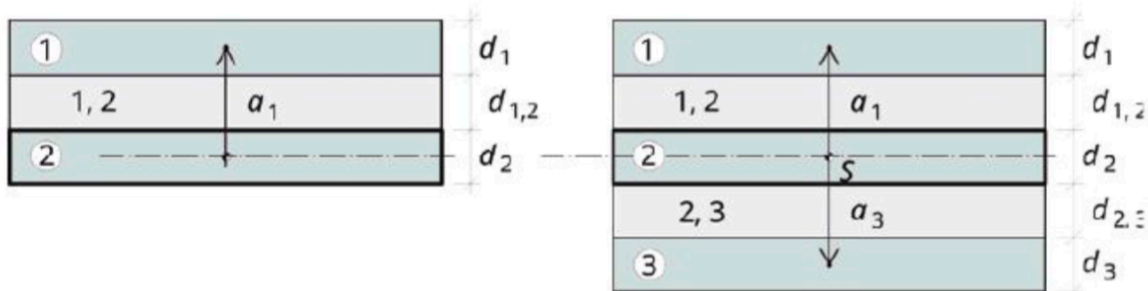
Figur 7: Tverrsnitt av et symmetrisk massivtreelement som viser at bøyepåkjenningene er størst i de ytterste lagene 1 og 2. Regner man med skjærdeformasjoner, vil ikke de de tverrgående lagene (1,2 og 2,3) bli påvirket av dette. Wallner-Novak et. al s. 29, 2014

Når det kommer til analytisk beregning av styrkeegenskaper, benytter man gjerne beregning av tverrsnittsverdier. Det finnes flere måter å gå analytisk til verks for å beregne slike tverrsnitt. En metode man kan benytte er ”mechanically jointed beams theory”, også kjent som gamma-metoden. En annen metode er ”Shear Analogy Method”. Disse metodene er mest benyttet når det kommer til analytisk tilnærming av tverrsnittets stivhet med hensyn til skjærdeformasjoner. (Karacebeyli et. al. 2011)



### 2.3.1 Mechanically Jointed Beams Theory/Gamma-metoden

Denne metoden er mye brukt i Europa, og baserer seg på Vedlegg B i Eurokode 5 (Wallner-Novak et. al. 2014). For å kunne gjøre denne metoden anvendelig til massivtre, antas det at det er kun bord orientert i lengderetningen (figur 8, lag nr. 1, 2 og 3) som bidrar til bøyestivhet. Skjærdeformasjoner vil oppstå i de tverrgående lagene som påvirker bøyestivheten. Man benytter rulleskjærstivhet som opptrer i bordene i tverretning forårsaket av ”imaginære festemidler” som binder de langsgående lagene sammen.



Figur 8: Avstander som benyttes i Gamma-metoden etter Eurokode 5, Wallner-Novak et.al. s. 34, 2014

Med andre ord blir de langsgående lagene sett på som bjelker satt sammen med ”mekaniske festemidler” som har stivhet lik opptredende rulleskjærdeformasjon i tverrgående lag. Stivheten til elementet, her de langsgående ”bjelkene” med imaginære festemidler blir karakterisert ved å benytte effektiv bøyestivhet  $EI_{\text{eff}}$  som bestemmes av egenskapene til langsgående lag sammen med faktoren for grad av effektiv tilkobling,  $\gamma$ . Faktoren  $\gamma$  angir hvorvidt festemidlene har en tendens til å skli fra hverandre.  $\gamma = 0$  angir ingen forbindelse, mens  $\gamma = 1$  angir full forbindelse. Denne metoden benyttes i oppgaven fordi den gir et godt bilde på elementets stivhet, og hvordan skjærdeformasjon av tverrgående lag er med på å påvirke resultatet. Det vil med andre ord være et godt sammenligningsgrunnlag når man benytter elementer med ulikt oppsett av trekvaliteter. Målet med metoden er å komme fram til elementets effektive bøyestivhet,  $EI_{\text{eff}}$  som er gitt ved følgende formel:

$$EI_{eff} = \sum_{i=1}^n (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad [1]$$

Her er:

$E_i$  = Elastisitetsmodul for det gitte lag

$I_i$  = Annet arealmoment for det gitte lag

$\gamma_i$  = faktor for hvorvidt forbindelsen er fast eller ikke.  $0 \leq \gamma \leq 1$ .  $\gamma = 0$  vil si at lagene kan gli fritt på hverandre, mens  $\gamma = 1$  indikerer en fullstendig limt forbindelse.

$A_i$  = Tverrsnittsarealet til det gitte lag

$a_i$  = Avstanden fra elementets tyngdepunktakse til det gitte lags tyngdepunktakse.

Inngår i bedre kjent som Steiner sats, som er det andre leddet i parenteser i formelen.

Videre kan inngående faktorer utregnes ved følgende formel:

$$\gamma_1 = \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1}{l_{ref}^2} \times \frac{d_{1,2}}{b \times G_{R,12}}\right)} \quad [2]$$

$\gamma_1$  beregnes ved å benytte ytterlamellens tverrsnittareal sammen med dets E-modul. I tillegg blir det satt inn en referanselengde som vil være lengden på elementet. Jo lengre denne avstanden blir, vil skjærspenningene i tverrlagene ha en mindre negativ effekt i forhold til bøyestivhet fordi forholdet mellom lengde og bredde blir mye større og lameller i lengderetning vil i all hovedsak sørge for opptredende bøyestivhet (Karacebeyli et. al. 2011). I tillegg vil rulleskjærmodulen sammen med tykkelsen på tverrlamellen påvirke hvor fast forbindelsen mellom lamell i lengderetning og lamell i tverretning er.

Her er:

$E_1$  = Elastisitetsmodul for det gitte lag

$A_1$  = Tverrsnittsarealet til det gitte lag

$l_{ref}$  = Referanselengde på elementet. Settes lik 4500 mm (Wallner-Novak et. al.)

$d_{1,2}$  = Høyden til det tverrgående laget som ligger mellom ytterste og midterste lag (for et 5-lags element)

$b$  = Elementets bredde. Settes normalt lik 1000 mm (Wallner-Novak et. al.)

$G_{R,1,2}$  = Rulleskjærstivhet for tverrgående lag mellom midterste lag og ytterste lag.  
 Settes lik 10% av Skjærstivhet for den gitte kvalitet (Mestek. et. al.) eller lik 50 N/mm<sup>2</sup>  
 (Wallner-Novak et. Al, 2014)

$$Y_3 = \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3}{l_{ref}^2} \times \frac{d_{2,3}}{b \times G_{R,23}}\right)}$$

$y_3$  blir regnet på samme måte som  $y_1$ . For symmetriske tverrsnitt vil  $y_1 = y_3$ .

$$a_1 = \left(\frac{d_1}{2} + d_{1,2} + \frac{d_2}{2}\right) - a_2 \quad [3]$$

$$a_3 = \left(\frac{d_2}{2} + d_{2,3} + \frac{d_3}{2}\right) + a_2$$

Avstandene  $a_1$  og  $a_3$  er avstanden fra elementets totale tyngdepunktakse til det gitte lags tyngdepunktakse. Denne avstanden inngår i Steiner sats som brukes for å beregne tverrsnittets treghetsmoment.:

$$I_{0,ef} = \sum_{i=1}^3 \frac{E_i}{E_c} \times \frac{b \times d_i^3}{12} + \sum_{i=1}^3 \gamma_i \times \frac{E_i}{E_c} \times b \times d_i \times a_i^2 \quad [4]$$

Tverrsnittets effektive treghetsmoment skiller seg fra netto treghetsmoment ved at man multipliserer med faktor for effektiv tilkobling,  $\gamma$ . Man tar altså hensyn til opptredende skjærdeformasjon.

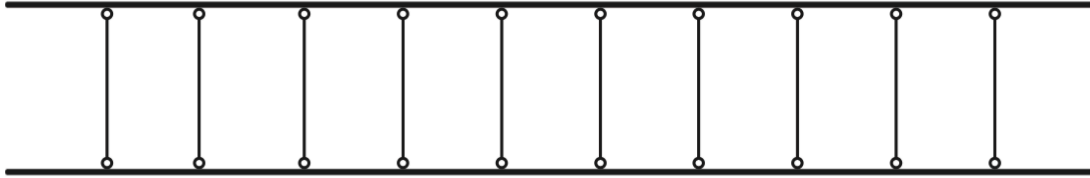
Som det fremgår i formelen vil treghetsmomentet for det gitte lag være lik

$$\text{treghetsmomentet for rektangulært tverrsnitt som er } I = \frac{bh^3}{12}$$

### **2.6.2 Shear Analogy Method**

I forhold til Gamma-metoden, kan "Shear Analogy Method" gir en mer korrekt beregning av elementer med flere enn 5 lag (Karacebeyli et. al, 2011). Skjærdeformasjoner tas også her med i beregningen, og et flere lags CLT-element blir sett på som 2 virtuelle bjelker (figur 9). Disse kalles bjelke A og bjelke B. Bjelke A bidrar med verdien for det gitte lags

bøyefasthet om dets egen nøytralakse, mens bjelke B bidrar til Steiner sats, skjærstivheten i elementet, samt fleksibiliteten mellom de ulike lagene. De to bjelkene A og B er satt sammen av et uendelig antall staver slik at man oppnår lik nedbøyning på bjelke A og B. Denne metoden er beskrevet etter veiledningen som er gitt i Karacebeyli et. al. kapittel 3.



Figur 9: Tenkt oppsett for Shear Analogy Method, der den øverste streken representerer bjelke A, og den nederste streken representerer bjelke B. I mellom ses stavene som holder bjelkene sammen. Karacebeyli et. al. 2011, kapittel 3, side 15.

Det er tenkt at bjelke A er tilordnet en bøyestivhet lik summen av den iboende bøyestivhet av alle de enkelte lag eller enkeltverrsnitt. Videre kan bøyestivheten for bjelke A karakteriseres ved følgende formel:

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12} \quad [5]$$

Her er:

$B_A = (EI)_A$ , som er bøyestivheten for bjelke A

$b_i$  = Bredden til hvert lag. Settes også her lik 1000 mm

$h_i$  = Tykkelsen til hvert enkelt lag

Bøyestivheten til bjelke B finnes ved utregning av Steiner sats i følgende formel:

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2 \quad [6]$$

Her er:

$B_B = (EI)_B$ , bøyestivheten for bjelke B

$A_i$  = Tverrsnittarealet for det gitte lag

$z_i$  = avstanden mellom det gitte lags tyngdepunktakse og elementets nøytralakse

Kombineres uttrykkene for bjelke  $B_A$  og  $B_B$  får vi formelen for elementets effektive bøyestivhet:

$$(EI)_{eff} = B_A + B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2 \quad [5] + [6]$$

Etter anvisning av Karacebeyli et. al. 2011, settes verdien for E-modul lik  $E_0$  for lag i lengderetning, og en rimelig verdi for E-modul i tverrsjiktene,  $E_{90}$  kan settes lik:  $E_{90} = E_0/30$ . Når det kommer til skjærmodul, vil den normale verdien  $G$  gjelde for lag i lengderetning, mens rulle-skjærmodulen  $G_R$  gjelder for lag i tverretning.

## **2.7 Syntese av teorien**

Teorien i denne oppgaven går inn på temaer som omhandler styrkeegenskaper og egenskaper hos trevirke. Det har blitt gått in på hvordan ulike typer sorteringer foregår for at råmaterialet skal bli klassifisert som en type kvalitet. Videre er det beskrevet to metoder for å kunne beregne bøyestivhet på en analytisk måte.

Teorien har noen hull når det kommer til faktisk bruk av ulike typer råmateriale i massivtrelementer. Det er å oppdrive uttalelser om bruk av C16/C18, for eksempel Brandner (2013), men ingen ytringer rundt bruk av dårligere virke. Rapporten til Kilde (2004) går derimot inn på temaet, og dette er mer diskutert i kapittel 5 i denne oppgaven. I tillegg er det lite å finne om pris av ulike kvaliteter. Teorien har heller ikke noen oversikt over hvor mye reject som oppstår fra sagbruksortering.

Det som vil være relevant av teori for å kunne svare på problemet, er særlig sagbruksortering og videre implementere dette til analytisk beregning av ulike tverrsnitt ved hjelp av de to utregningsmetodene som er presentert. Teorien mangler tallfestede data som gjør at man kan sette opp et element basert på andelen kvaliteter man får ut fra en sagbruksortering. Med økt kunnskap om hvordan sortering av trevirke foregår, og hvordan man analytisk kan beregne ulike typer tverrsnitt vil dette bli implementert videre i metode, resultat og analyse.

## 3. Metode

### 3.1 Forskningsstrategi

For å kunne besvare problemstillingen i denne oppgaven trengs det først og fremst kunnskap om muligheter for å kunne benytte forskjellige typer trekvaliteter i et massivtreelement. Generell teori om hvordan sortering av trevirke fungerer finnes, men det er lite tilgjengelig informasjon om hvordan denne sorteringen kan bidra til å sette opp et element med høyest mulig verdiskapning. I tillegg mangler det tallfestede data på hvilke ulike kvaliteter som typisk kan komme ut av en sortering, og særlig da i Norge. For å kunne besvare problemstillingen som er presentert i denne oppgaven, er det viktig å få tall på dette. I tillegg er det ønskelig å benytte forskningsmetoder som vil øke forståelsen for hvilket potensiale som ligger i å sette sammen et massivtreelement med ulike trekvaliteter. For å kunne komme med en konklusjon i oppgaven, ble det bestemt å utføre et intervjustudie for å kunne besvare delmålene som er presentert i kapittel 1.2. Det var i tillegg et strategisk valg å få tak i statistiske sorteringsdata fra et sagbruk, da resultatene herfra sammen med analytisk beregning ses på som et viktig element for å kunne konkludere oppgaven.

### 3.1 Forskningsmetoder

#### 3.1.1 Kvalitative og kvantitative metoder

Når det kommer til forskningsstrategier ved gjennomføring av et slikt studie, er særlig bruk av kvalitative og kvantitative metoder nevnt. Kvalitative metoder gjenkjennes best ved at innsamling av data foregår ved samtale, tekst eller ulike observasjoner (De nasjonale forskningsetiske komiteene, 2010). Man kan deretter tolke budskapet fra de involverte i metoden for å få en dypere innsikt i innholdet. Kvantitative metoder utspiller seg mer på data som tallfestes, som baserer seg på utnyttelse av for eksempel statistikk. Materialet kan deretter beskrives ved hjelp av figurer, tabeller eller mer statistiske verdier som for eksempel gjennomsnitt (De nasjonale forskningsetiske komiteene, 2010). Videre kan det nevnes at kvalitativ metode kan være en god løsning som et forprosjekt, og kan videre ligge til grunn for en kvantitativ analyse (De nasjonale forskningsetiske komiteene, 2010).

### **3.1.2 Anvendt metode i oppgaven**

I første omgang er det benyttet kvalitativ metode i denne oppgaven i form av et intervjustudie med informanter innenfor, eller med god kjennskap til norsk treindustri. Et intervjustudie blir i denne sammenhengen sett på som en god forskningsmetode da det finnes få relevante forskningsartikler og data som kan bidra til å løse målene og problemstillingen.

Intervjuene ble også gjennomført for å bekrefte eller avkrefte elementer i teorien, samt å underbygge ulike synspunkter som gjelder for norsk massivtreproduksjon. For å kunne gi et godt, reflektert svar på problemstillingen, krever det kunnskap fra ulike deler av treindustrien. Det trengs også kunnskap for å dekke hull der teorien er mangelfull. Dette gjelder erfaringer rundt dårligere virke i et massivtreelement, informasjon om hva pris på ulike kvaliteter ligger på, og hvordan andelen av ulike kvaliteter ligger på i sagbruksortering. Med andre ord vil dette være kunnskap som leder til besvarelse av de ulike målene i oppgaven. Etter denne kvalitative tilnærmingen ble det også klart at kvantitative tall i form av sorteringstatistikk fra sagbruk kan være med å bygge opp teoriene som blir kartlagt i den kvalitative delen av studiet. Med andre ord er kvalitativ metode benyttet som et type forprosjekt, som igjen ligger til grunn for ønske om en kvantitativ tilnærming.

### **3.2 Datainnsamling**

Intervjuene som ble gjennomført i dette studiet var på begynnelsen av forskningen, og intervjuformen kan derfor klassifiseres som ustrukturert. I et ustrukturert intervju er kun hovedemnene som skal diskuteres planlagt på forhånd. Man vil i utgangspunktet la intervjuobjektet styre samtalen så godt det lar seg gjøre (Sander, 2016). Intervjuene ble med andre ord gjennomført fordi all grunnleggende basiskunnskap ikke var tilstede, samt at man mangler oversikt over faktorer som kan være med å påvirke problemstillingen (Sander, 2016).

Intervjuene inneholdt i hovedsak dialog om ulike faktorer knyttet til de 4. forskningsspørsmålene presentert i kapittel 1.2 i oppgaven. Følgende informanter ble intervjuet som del av kvalitativ metode:



<b>Informant</b>	<b>Dato</b>	<b>Stilling</b>
Informant 1	18.08.2016	Ledende rolle, massivtreprodusent
Informant 2	23.08.2016	Konsulent
Informant 3	31.08.2016	Ledende rolle på sagbruk
Informant 4	09.09.2016	Forsker og treeteknolog
Informant 5	12.09.2016	Professor
Informant 6	12.09.2016	Professor
Informant 7	30.09.2016	Ledende rolle, massivtreproduent

*Tabell 3: Liste over informanter som har stilt opp i intervjustudie. Informant 1 og 7 tilhører samme bedrift.*

Disse informantene ble valgt i intervjustudiet da samtlige har mange års erfaring innenfor norsk treindustri. Det ble også fokusert på å intervju informanter fra ulike deler av verdikjeden, da de vil ha forskjellige tilnærminger av problemstillingen og hvordan kunne løse denne.

### **3.3 Strategi for analyse**

Resultatene fra intervjuene sammen med informasjonen som kommer ut fra sagbrukstatistikken vil danne grunnlaget for analysen i oppgaven. Det kommer fram fra intervjuene at det kan være potensiale i å bruke rejectmateriale i et massivtreelement. Rejectmaterialet blir som regel tatt bort fra sorteringen, men vil kunne fungere godt i midten av elementet. Det blir derfor valgt å beregne like tverrsnittsdimensjoner med ulike kvaliteter for å sammenligne fysiske egenskaper for ulikt oppsett av kvaliteter. Deretter benyttes sorteringsstatistikken for å sette opp et element med de andelene av kvaliteter som oppstår. Målet med dette er å finne et tall på hvor mye mer ferdig element man kan få ut av samme parti med råmaterialer, sortert på best mulig måte. Analysen av dette vil nærmere bidra til å kunne konkludere oppgaven.

### **3.4 Reliabilitet, validitet og generalisering**

Reliabilitet er først og fremst et mål på hvorvidt resultatene fra de metodene som er valgt kan sies å være lik den virkelige situasjonen (Sander, 2014). Ved bruk av kvalitativ metode som det er gjort i denne oppgaven ved et intervjustudie, er det klart at personlige antakelser og synspunkter vil kunne påvirke resultatet. Dette var også noe av grunnen til at informanter med ulik bakgrunn ble spurt til å delta i intervjuet. Kvantitative tall i form av statistikk som er presentert i denne oppgaven, er dog noe mer håndfast, men her vil også forfatterens tolkning av resultatet spille en rolle. Resultatene i denne oppgaven har ved benyttelse av både kvalitativ og kvantitativ tilnærming gitt et godt bilde for hvilket potensiale som ligger i å kunne benytte trevirke av ulike kvaliteter, uten å konkludere med hvordan dette vil fungere i praksis. Resultatene fører uansett til videre analyse og diskusjon.

Validitet går mer inn på hvorvidt studiet analyserer det som er definert i problemstillingen, og hvorvidt valgt metodisk tilnærming valgt i oppgaven bidrar til å nærmere kunne konkludere oppgaven (Sander, 2014). Når det kommer til den kvalitative tilnærmingen, er informantene valgt ut på bakgrunn av deres lange erfaring innenfor norsk treindustri. Med andre ord har informantene relevant bakgrunn for å bidra til validitet i oppgaven. De kvantitative tallene bidrar også til en mer tallfestet analyse, hvor personlige antakelser ikke spiller like stor rolle.

Generalisering i et slikt studie går inn på den prosessen hvorvidt påstander som måtte komme som et resultat i den metodiske tilnærmingen kan gis allmenn gyldighet (Roald et. al 2008). I et slikt studie vil dette være et problem da den kvalitative metoden ikke er omfattende nok i et tema hvor det også er hull i teorien. Resultatene som kommer fra denne metoden inneholder derfor personlige antakelser som ikke nødvendigvis gjelder for alle. De statistiske tallene gir for øvrig et bedre bilde, men kan heller ikke generaliseres, da andelene man får ut fra sortering kan avhenge av ulike typer sorteringsmaskiner, hvor tømmeret er hentet fra og hvor i landet man befinner seg. Tolkningene av tallene kan også gjøres på ulike måter.

## 4. Resultater

Resultatene i dette kapitlet inneholder svarene som kom fra de ulike informantene i intervjustudiet. Deretter følger en oppsummering av intervjuet som kobler intervju svarene med oppgavens mål. Videre følger henvisning til sorteringsstatistiske data fra sagbruk.

### 4.1 Intervjuer

#### Informant 1 og 7, Ledende roller, produsent av massivtre

Her er intervjuene fra informant 1 og 7 tatt sammen, da de begge jobber i samme bedrift. Begge informantene mener at problemstillingen er meget interessant, og at tematikken rundt råmaterialer til massivtre er noe som bør tas tak i før det kan produseres i et stort antall i Norge. Videre mener de at pris er et meget viktig tema. Uten å ha et fast tall på det, hevder de at man kan få reject-materiale til en betydelig lavere pris pr. m<sup>3</sup> enn for eksempel C24, men at man da også må tenke på at flere kvaliteter av trevirke kan bidra til økte produksjonskostnader. Dette gjelder særlig for innslusing av bord til fingerskjøting, hvor flere materialer kan skape en flaskehalseffekt som hindrer en like lineær og effektiv produksjonslinje. Dette vil også gjelde for opplegging av lamellene til elementer, hvor flere kvaliteter i ulike sjikt også kan skape en flaskehalseffekt i produksjonslinjen. Videre hevder de at rejectmateriale vil kunne fungere godt i midtsjiktet i et element, og refererer til andre som har benyttet seg av dette tidligere. Dette gjelder Moelvns tidligere massivtrefabrikk og Norsk Massivtre, som har benyttet dette som midterste lag i elementet. Informantene har ingen håndfaste data på hvorvidt dette fungerer i praksis.

#### Informant 2, Konsulent

Informant 2 er i utgangspunktet veldig positiv til oppgaven og har stor tro på at økt forskning på dette er viktig for å øke konkurranseevnen til massivtre på det norske markedet. Han mener også at det er viktig at det oppstår en industri først. Med dette mener informanten at stor-skala massivtreproduksjon er lite utbredt i Norge, og at både tilbud og etterspørsel må komme på et høyere nivå før man kan si noe om reelle priser på råmaterialer, og hvilke metoder som lønner seg i det norske markedet. I Norge i dag blir mye av tømmeret eksportert ut, samtidig som vi importerer ferdige elementer fra

utlandet. Med andre ord er ikke industrien godt nok etablert til å kunne utnytte norsk råmateriale til sitt fulle potensiale. Uansett mener informanten at slike problemstillinger som oppstår i denne oppgaven er meget viktig å få på bordet. Før man kan standardisere produksjon i Norge, er det viktig å se på muligheter for å få produksjonskostnader ned, slik at massivtre har mulighet til å utkonkurrere stål og betong.

### **Informant 3, Ledende rolle på sagbruk**

Informant 3 jobber på et sagbruk som stort sett sorterer ut limtreklasser, dvs. T22 og T15, men han nevner at klassene C30, C24 og C18 egner seg hovedsakelig til massivtre. Informanten sier også at trekvaliteten C18 blir mindre og mindre sortert ut. Grunnen til dette er at C24 har de siste årene tatt over for denne kvaliteten, rett og slett fordi markedet har beveget seg i denne retningen. Generelt oppstår det lite reject på dette sagbruket, fordi den maskinelle styrkesorteringen sorterer tømmeret på en svært gunstig og effektiv måte. Om det dog oppstår noe reject, mener informanten at dette forekommer mer på sorteringer der bredden på bordene øker. Jo større dimensjon på bordene, jo mer reject vil man få ut.

Informanten er enig i at det kan være et potensiale i å benytte rejectmateriale til produksjon av massivtre, men at det er visuelle krav man må forholde seg til. Benytter man rejectmateriale i massivtre, er det ikke noe tvil om at råstoffkostnaden vil være rimeligere. Det vil kun være billigere hvis man tar rejecten som den er. Hvis sagbruket må påta seg en ekstra sorteringsjobb i forhold til reject, vil ikke prisforskjellen i m<sup>3</sup> avvike mye fra m<sup>3</sup>-prisen på C24. Mange av bordene som klassifiseres som reject vil dermed ikke kunne benyttes pga. ikke oppfylte krav, som vridning, sprekk og kvist. Det legges til at det er strenge krav til slikt rejectmateriale og hvis det skal benyttes, så bør det legges i det midterste laget av et element. For øvrig vil økt utnyttelse av rejectmaterialet gi et økonomisk potensiale for sagbruket. Rejecten som oppstår på dette sagbruket i dag blir hovedsakelig eksportert til utlandet. Akkurat hva det blir brukt til varierer, men som oftest er det til produksjon av Euro-pall, samt at noe blir kuttet opp til diverse typer flis. Selger sagbruket dette lokalt i stedet, kan dette ha en positiv effekt, sett i verdikjedens perspektiv.

Når det kommer til faktisk pris på ulike kvaliteter som kan inngå i et massivtreelement, er dette noe uklart, med m<sup>3</sup>-prisene på hhv. C30, C24 og reject kan antas å ligge på et følgende nivå:

C30: 1900 kr/m<sup>3</sup>

C24: 1700 kr/m<sup>3</sup>

Reject: 1300 kr/m<sup>3</sup>

#### **Informant 4, Treteknolog og forsker**

Informant 4 mener at råstoffkostnader og diskusjon rundt økonomisk potensiale i norsk massivtreproduksjon er et lite dokumentert tema, men et tema som er absolutt relevant i dagens lys. Det er et tema det er mye delte meninger om, uten at det er en felles konklusjon om hva som lønner seg i det norske markedet. Informanten poengterer at det i en slik oppgave er viktig å få fram følsomheten til den eventuelle lavere prisen ved bruk av "dårligere" virke. Det vil med andre ord si hvor mye mer man evt. kan produsere til samme pris målt i for eksempel løpemeter eller m<sup>3</sup>, og i tillegg kartlegge styrke- og stivhetsforskjeller knyttet til bruk av ulike trekvaliteter. Samtidig er det også viktig å få fram hvor rimelig rejectmaterialet minimum må være om den skal benyttes til massivtreproduksjon.

Han nevner også at solide tall kan bidra til en god analyse, men at det ikke nødvendigvis er så lett å oppdrive alle data man trenger for å få et klart svar på problemstillingen. Det kommer også frem fra intervjuet at det er viktig å prøve å få frem en modell på anskaffelse av reject. Reject er naturlig nok ikke noe man kan bestille visse mengder av, i og med at det ikke er et potensiale for et sagbruk å sage dårlig virke. Rejecten er mer noe som oppstår som et "biprodukt" fra maskinell sortering. Det er også viktig å nevne hvem som skal sortere denne rejecten. Det leddet i verdikjeden som evt. får denne sorteringsjobben vil jo da få en økt kostnad knyttet til dette. I all hovedsak dreier det seg om å sortere ut den 6-sorten som ikke egner seg i et massivtreelement. Dette kan jo for eksempel være råte, store deformasjoner og ugunstige fiberhelninger. Videre nevner informanten at ved økt bruk av reject må mulig prisen på sluttproduktet reduseres noe på grunn av markedet. Han sier også at dette ikke nødvendigvis er tilfelle, men mer en personlig antakelse.

#### **Informant 5 og 6, Professorer**

Informant 5 og 6 mener at økt bruk av reject til massivtre har vært prøvd ut i mindre prosjekter før, uten hell. Grunnen til dette er noe uklar, men i all hovedsak går det på den ekstra sorteringsjobben som må til, og at kvaliteten på reject er noe uforutsigbar. De mener dog at problemstillingen er interessant, og at dette er noe som absolutt er relevant å regne på. De ønsker også å få frem at kvalitet på reject er noe som kan variere

og at boniteten på ulike skogfelt kan variere i stor grad. Med andre ord vil forskjellige skogsområder ha ulik produksjonsevne av tømmer. Man kan med andre ord ikke ta tall fra et sagbruk og konkludere med at det er slikt overalt. Statistiske tall fra et sagbruk vil allikevel gi et godt innblikk på hvordan sorteringen foregår, og hvilke kvaliteter man oppnår. Til slutt mener de at reject skal kunne fungere godt i midten av et element, selv om virket har mye kvist. Kvisten vil være dimensjonerende dersom det er mye av det i ytterlamellene, hvor påfølgende bøyepening vil være størst. Her kan det derfor være gunstig med et sterkt virke som bidrar til både stivhet og styrke. I midten er det en større andel av skjærkrefter og her vil ikke kvisten være noe ugunstig, snarere tvert i mot.

## **4.2 Oppsummering av intervjuer**

Svarene på intervjuene oppsummeres, og kobles sammen mot målene som er presentert i 1.2.

### **1. Hvilke muligheter finnes for å kunne utnytte råmateriale til massivtre på en best mulig måte?**

Informantene er stort sett enige i at råmaterialet til massivtre kan bedre utnyttes ved å også benytte seg av dårligere virke i elementet. Om det skal benyttes, vil det i så fall være gunstig å plassere dette i midten i elementet, da opptredende bøyepåkjenninger er minst her.

### **2. Hvordan kan riktig bruk av sorteringstatistikk bidra til økonomisk vinst?**

Andelen av ulike kvaliteter man får ut fra en sortering vil kunne bidra til å sette opp et element basert på disse sorteringene. Velger man deretter å benytte rejectmaterialet som inngående del av et element, vil råstoffkostnadene potensielt bli lavere, da m<sup>3</sup>-prisen på reject vil være lavere enn for eksempel C24-virke.

### **3. Hvordan vil bøyestivheten endre seg i forhold til hvilke kvaliteter som inngår i et massivtreelement?**

Bøyestivheten blir mye bestemt av hvilken dimensjon og kvalitet ytterlamellene har. Dårligere virke i midten av elementet vil derfor ikke påvirke dette i like stor grad.

### **4. Hvilke utfordringer ligger til grunn ved bruk av flere trekvaliteter?**

Det er knyttet utfordringer til kjennskap om pris på ulike trekvaliteter som kan inngå i et massivtreelement. Dette går mye på at industrien i Norge per i dag

ikke er stor nok. Ved en større tilbud og etterspørsel etter trevirke til massivtre, vil prisene potensielt kunne legge seg på et mer fast nivå. I tillegg kan dårligere virke, som reject, ha ugunstige deformasjoner, kvist, eller biologiske skader som råte, som gjør at de vil egne seg dårlig i et massivtreelement. Det er også knyttet få erfaringer om bruk av dårligere virke i et element, og hvordan dette fungerer i praksis.

### **4.3 Sorteringstatistikk**

Et av målene bak dette studiet for å kunne løse problemstillingen, var å finne et estimat på hvor mye reject som oppstår fra sorteringen på et sagbruk. Informanten på sagbruket hevdet at det jevnt over oppstod lite reject på sagbruket. Det var derimot ønskelig å tallfeste dette, og sagbruket har delt sorteringsstatistikk fra perioden 16/4-2015 til 18/8-2015. I vedlegg A kan man se sorteringsstatistikk av ulike kvaliteter fra dette sagbruket. Siden sagbruket ønsker at tallene benyttes på et generelt grunnlag, ønsker ikke sagbruket å bli navngitt i denne sammenhengen. Som det fremkommer av tabellen kan man se hvilke kvaliteter de ulike sorteringene gjelder for under fanen "GradeComb". Videre får man opp verdier av gjennomsnittlig tykkelse(TAv), bredde(WAv), lengde(Lav) og fuktighetsinnhold i prosent (MCAv). Statistikken angir også antallet bord som har blitt sortert (NoOfPieces). Man får også ut av statistikken prosentandelen av de ulike kvalitetene som er sortert ut. Av disse andelene kommer det også fram hvor mange prosent reject det gitte parti inneholder. Rejecten blir klassifisert under 8 ulike kategorier for virkesfeil, fra "%R\_01" til "%R\_08". Tabell 4 viser de ulike virkesfeilene som rejecten faller under. Tabell 5 viser et utsnitt fra vedlegg A med de ulike verdiene som inngår.

R_01	Teknisk feil fra maskinen
R_02	Bordet har ikke tilfredsstillende lengde
R_03	For uhomogent tverrsnitt, typisk for mye kvist
R_04	Bordet har ikke tilfredsstillende densitet
R_05	Oppnådd elastisitetsmodul (E-modul) er lavere enn minste tillatte E-modul for sorteringen
R_06	Densitetsnivå er lavere enn minste tillatte densitetsnivå for sorteringen

R_07	Bordet har ikke tilfredsstillende tykkelse
R_08	Bordet har ikke tilfredsstillende bredde

Tabell 4: Klassifisering av reject. Dynalyse (u.å)

"GradeComb	TAv(mm)	WAv(mm)	LAv(m)	MCAv(%)	NoOfPiece	%Total_R	G1	%G1	G2	%G2	%R_01	%R_02	%R_03	%R_04	%R_05
"PG04208: R / C18 / C30	52.6	127.4	4.63	20	857	0.4	C18	9.9	C30	89.7	0	0	0.2	0	0.1
"PG04208: R / C18 / C30	52.6	203.4	4.91	20	16297	1.8	C18	19.2	C30	79	0.1	0.1	0.3	0	0.7
"PG04208: R / C18 / C30	52.6	203.4	4.91	20	9317	1.4	C18	20.7	C30	77.8	0.1	0.1	0.4	0	0.8
"PG04106: R / C30	52.6	102.7	4.7	20	19509	4.9	C30	95.1		0	0	0	0.4	0	4.5
"PG04106: R / C30	52.6	102.7	4.71	20	10392	2.9	C30	97.1		0	0	0	0.3	0	2.6
"PG04103: R / C24	65.5	152.8	4.93	20	4636	4	C24	96		0	0	0.1	0.4	0.1	0
"PG04106: R / C30	39.5	152.8	4.87	20	11482	11.9	C30	88.1		0	0.1	0	0.5	0	11.2
"PG04103: R / C24	51.9	157.3	4.8	14	4869	0.7	C24	99.3		0	0	0	0.2	0	0.4
"PG04106: R / C30	51.9	228.3	4.6	20	5168	24.5	C30	75.5		0	0	0	0.2	0	24.2

Tabell 5: Utsnitt av sorteringstatistikken fra vedlegg A

Som det fremkommer i tabell 5, har både C18, C24 og C30 blitt sortert ut. Man ser også at for de ulike kvalitetene er det også sortert ut "R" som står for reject.

Man kan også se at antallet bord som inngår i sorteringene varierer mye. Dimensjonene på bord som inngår i sorteringene varierer også noe. Tykkelsen ligger et sted mellom 38 og 52 mm, og bredden ligger på dimensjonene  $\approx 50$  mm, 100mm, 150 mm, 200 mm og 225 mm, noe som tilsier at dette er konstruksjonsvirke (2" x 4" etc.). Statistikken bekrefter også sagbrukinformantens opplysninger om at andelen reject øker når borddimensjonen øker. Dette ser man særlig når bredden på bordene øker. For å plukke ut et eksempel fra tabell 5 der C30 og reject er sortert ut, ligger rejectandelen på  $\approx 50$  mm x 100 mm på 4,9% av totalt 19509 bord. Til sammenligning ligger rejectandelen på dimensjonen  $\approx 50$  mm x 225 mm på 24,5% av totalt 5168 bord.

Tabellen viser også at hovedårsaken til klassifisering av reject er at bordet ikke har minste tillatte E-modul for sorteringen. Dette ser man under fanen "%R\_05". Dette gjenspeiles også i tabell 5. Dette vil si at for eksempel i en sortering der C30 tas ut, har ikke rejecten minste tillatte E-modul, som for C30-virke er 12 000 N/mm<sup>2</sup> etter NS-EN 338. En annen hovedårsak til klassifisering av reject er at densiteten til bordet er for lav. Dette ses under fanen "%R\_04". I en C30 sortering vil dette si at rejecten som havner under denne kategorien har en densitet lavere enn 380 kg/m<sup>3</sup> i henhold til NS-EN 338. Uhomogent bord som kan tyde på mye kvist og som faller under kategorien "%R\_03", er ikke en hovedårsak til klassifisering av reject, som det fremkommer av tabellen.



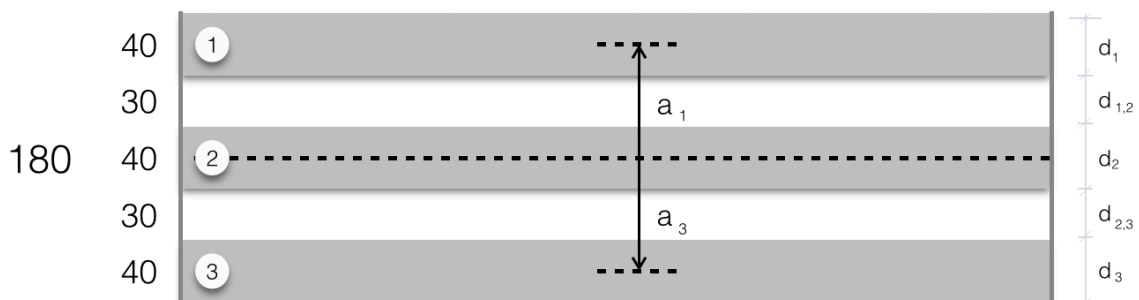
## 5. Analyse

I inngående analyse ønskes det i hovedsak å beregne bøyestivheten i ulike elementer, da denne vil spille en stor rolle med tanke på eventuell nedbøyning og vibrasjoner som måtte oppstå i elementet. Tverrsnitt med ulike kvaliteter vil beregnes for å fatte en sammenheng mellom ulike kvaliteter, for deretter å bruke resultatet fra 4.1 der informant 4 anbefalte å: ”.. få fram følsomheten til den eventuelle lavere prisen ved bruk av ”dårligere” virke. Det vil med andre ord si hvor mye mer man evt. kan produsere til samme pris målt i for eksempel løpemeter eller  $m^3$ . Til utregning benyttes metodene som er presentert i kapittel 2.

### 5.1 Beregning av effektiv bøyestivhet, $EI_{eff}$

#### 5.1.1 Mechanically Jointed Beams Theorem / Gamma-metoden

Velger først å benytte Gamma-metoden som beskrevet av Karacebeyli et. al (2011) kapittel 3 og av Wallner-Novak et. al. (2014), som baserer seg på vedlegg B i Eurokode 5. Målet er å komme fram til effektiv bøyestivhet i elementet gitt ved  $EI_{eff}$ . Det ønskes først å benytte et element som er et vanlig masseprodusert element i dag, både med tanke på kvalitet og dimensjoner. Benytter først et element med gjennomgående C24-kvalitet, og velger tykkelse på lameller etter et standard element fra den østerrikske produsenten KLH. Velger derfor et 5-lags krysslågt element med følgende høyder på lamellene: 40L-30W-40L-30W-40L, med en totalhøyde på 180 mm. Her representerer L lameller i lengderetning, mens W representerer lameller i tverretning. Vi får dermed følgende element (figur 10):



*Figur 10: Tverrsnitt av massivtrelement. De grå lagene representerer lameller i lengderetning, de hvite representerer lameller i tverretning, basert på Wallner-Novak et.al. s. 139*

Videre følger formlene presentert i Wallner-Novak et.al(2014). og (Karacebeyli et. al 2011). For eksemplene som går gjennom i denne delen er referanselengden på elementet  $l_{ref}$  satt til 4,5 m, og bredden på elementet er satt til  $b = 1$  m. For at antakelsen om at kun lameller i lengderetning bidrar til stivhet, er det viktig at man har en viss størrelse på forholdet mellom lengde og bredde på elementet (Karacebeyli et. al. 2011, Kapittel 2.3.1.1) I tillegg vil lengden 4,5 passe godt overens med gjennomsnittslengde på bord fra sortering (se tabell 5).

Beregning for avstandene  $a_1$  og  $a_3$ . Siden elementet har et symmetrisk tverrsnitt, eksisterer ikke avstanden  $a_2$  som settes lik 0.

Setter opp formelen for effektivt treghetsmoment som tar utgangspunkt i at  $\gamma < 1$ , med andre ord er tverrsnittet skjærfleksibelt.

$$I_{0,ef} = \sum_{i=1}^3 \frac{E_i}{E_c} \times \frac{b \times d_i^3}{12} + \sum_{i=1}^3 \gamma_i \times \frac{E_i}{E_c} \times b \times d_i \times a_i^2 \quad [4]$$

Avstandene  $a_1, a_2, a_3$ :

$$a_2 = 0$$

$$a_1 = \left( \frac{d_1}{2} + d_{1,2} + \frac{d_2}{2} \right) - a_2 \quad [3]$$

$$a_1 = \left( \frac{40}{2} + 30 + \frac{40}{2} \right) - 0 = 70 \text{ mm}$$

$$a_1 = a_3 = 70 \text{ mm}$$

Deretter har vi uttrykket for å beregne  $\gamma_1$ :

$$\gamma_1 = \frac{1}{\left( 1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times b \times d_1}{l_{ref}^2} \times \frac{d_{1,2}}{b \times G_{R,1,2}} \right)} \quad [2]$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{\left( 1 + \frac{\pi^2 \times 11.000 \times 1.000 \times 40}{4.500^2} \times \frac{30}{1000 \times 69} \right)} = 0,915$$

Etter anvisning fra Wallner-Novak et.al. (2014), anbefales det å sette rulleskjærstivhet  $G_R$  til  $50 \text{ N/mm}^2$ , men siden det ønskes å få frem bidrag fra ulike kvaliteter som benyttes i elementet, settes rulleskjærstivheten lik 10% av skjærstivheten for den gitte kvalitet,  $G_R = G_{\text{mean}}/10$  (Mestek et. al. 2008). For C24 blir derfor  $G_R$  10% av  $G_{\text{mean}}$  i NS-EN 338, som er  $690 \text{ N/mm}^2/10 = 69 \text{ N/mm}^2$ .

Symmetrisk tverrsnitt gir:

$$Y_1 = Y_3 = 0,915$$

Setter inn verdiene i formelen for treghetsmomentet:

$$I_{0,ef} = 3 \left( \frac{1000 \times 40^3}{12} \right) + 2(0,915 \times 1000 \times 40 \times 70^2) = 374,68 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad [4]$$

Videre kommer uttrykket for effektiv bøyestivhet,  $EI_{\text{eff}}$ :

$$EI_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad [1]$$

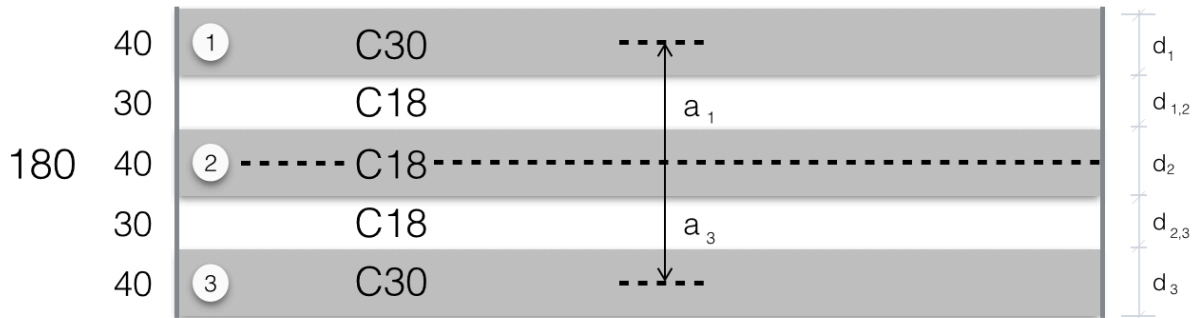
Igjen er E-modul lik for alle tverrsnitt. Effektiv bøyestivhet blir dermed:

$$EI_{\text{eff}} = 11.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times I_{0,ef}$$

$$EI_{\text{eff}} = 11.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 374,68 \times 10^6 \text{ mm}^4 = \underline{4,121 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}$$

### Mechanically Jointed Beams Theorem/Gamma-metoden med C30 og C18

Videre er det interessant å sammenligne resultatet med et tverrsnitt med forskjellige trekvaliteter. Setter opp et element med samme dimensjoner som i eksemplet med C24. Her er derimot de innerste 3 lagene byttet ut med C18 (se figur 11).



Figur 11: Oppsett for eksempel 2 til beregning av Gamma-metoden med C30 og C18, basert på Wallner-Novak et.al (2014) s.139

### Akseavstander

Benytter igjen [3] og finner avstanden  $a_1$ :

$$a_1 = 70 \text{ mm}$$

Igjen, symmetrisk tverrsnitt:

$$a_1 = a_3 = 70 \text{ mm}$$

For å regne ut effektivt treghetsmoment [4], finnes først faktoren  $Y$

### Gamma faktor $Y$

Benytter [2] og finner faktoren  $Y_I$ :

$$Y_I = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 12000 \times 1000 \times 40}{4500^2} \times \frac{30}{1000 \times 56}} = 0,889$$

Her er  $G_R = 10\%$  av  $G_{\text{mean}}$  som er  $10\%$  av  $560 \text{ N/mm}^2$  for C18 i EN 338.

Setter verdiene inn i formelen for effektivt treghetsmoment:

$$I_{0,ef} = 3 \left( \frac{1000 \times 40^3}{12} \right) + 2(0,889 \times 1000 \times 40 \times 70^2) = 364,49 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Setter verdiene inn i [1] og får:

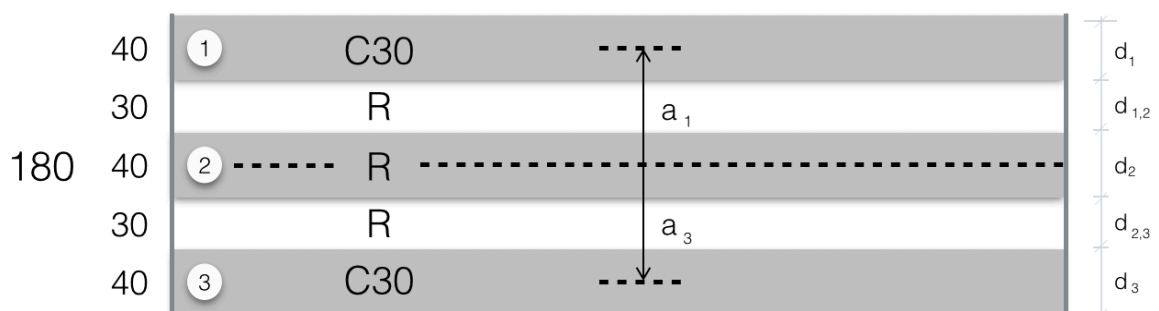
$$EI_{eff} = 12000 \left( 2 \left( \frac{1000 \times 40^3}{12} + 0,889 \times 40 \times 1000 \times 70^2 \right) \right) + \left( 9000 \times \frac{1000 \times 40^3}{12} \right)$$

$$= 4,315 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

## Mechanically Jointed Beams Theorem/Gamma-metoden med C30 og Reject

### Valg av E-modul for utsortert reject

Av sorteringene som er gjort på sagbruk av C30 og reject, kan man se at andelen av utsortert reject varierer mye. Her varierer også dimensjonene på bordene noe mer enn for utsortert C30/C18/R og C24/R. Der C30 og R er tatt ut ser vi på sorteringstallene en gjennomsnittlig E-modul-verdi mellom 10 000-11 000 N/mm<sup>2</sup>. Det vil derimot ikke gi et helt riktig bilde av E-modulen for reject utsortert, siden C30 kvaliteten som er utsortert også kan ha en E-modul større enn 12 000 N/mm<sup>2</sup>. Fra forsøket til Kilde et. al. (2004) ble det kommet fram til at utlegg (reject) fra visuell virkesortering etter NS-INSTA 142 hadde en gjennomsnittlig E-modul på 11 263 N/mm<sup>2</sup> og 9 026 N/mm<sup>2</sup> for henholdsvis utlegg fra limtre og massevirke. Rejecten her settes allikevel som C14-virke, med andre ord med en E-modul på 7000 N/mm<sup>2</sup> i følge NS-EN 338.



**Figur12: Oppsett for eksempel 2 til beregning av Gamma-metoden med C30 og Reject, basert på Wallner-Novak et.al (2014) s.139**

### Akseavstander

Igjen benyttes [3]:

$$a_1 = 70 \text{ mm}$$

Igjen, symmetrisk tverrsnitt:

$$a_1 = a_3 = 70 \text{ mm}$$

### Gamma faktor Y

Finner igjen  $Y_1$  ved hjelp av [2]

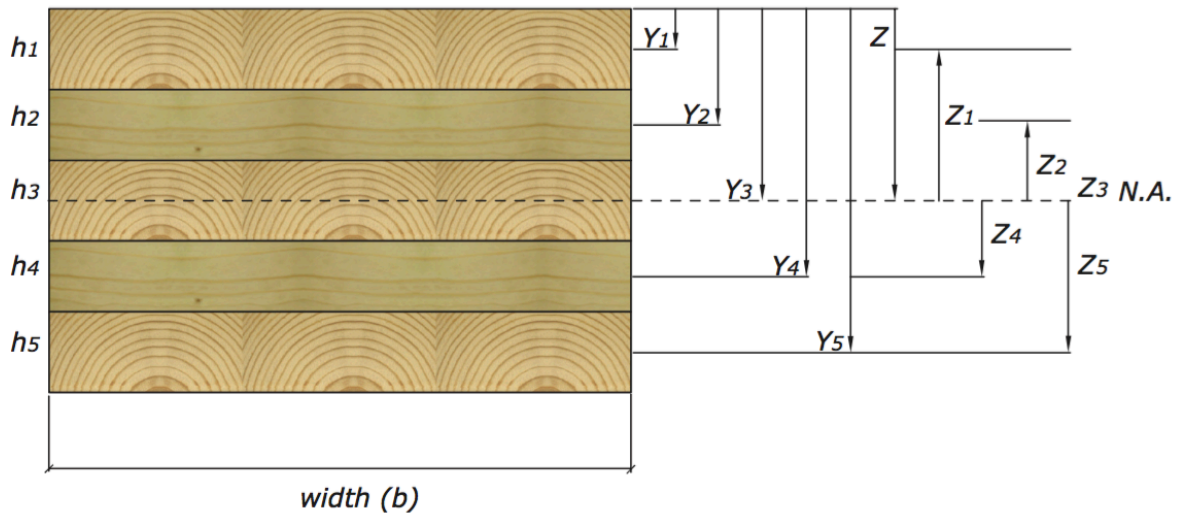
$$Y_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \times 12000 \times 1000 \times 40}{4500^2} \times \frac{30}{1000 \times 44}} = 0,862$$

Her settes  $G_R = G_0/10$  for C14-virke etter NS-EN 338.

Setter igjen verdiene inn i [1] og får:

$$\begin{aligned} EI_{eff} &= 12000 \left( 2 \left( \frac{1000 \times 40^3}{12} + 0,862 \times 40 \times 1000 \times 70^2 \right) \right) + \left( 7000 \times \frac{1000 \times 40^3}{12} \right) \\ &= \underline{4,22 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2} \end{aligned}$$

### 5.1.2 Shear Analogy Method – Beregning av bøyestivhet



**Figur 13: Oppsett for et element med avstander som inkluderes i beregningen av "Shear Analogy Method".**  
(Karacebeyli et. al. 2011, kapittel 3, s. 42)

I denne metoden ønskes det også å bruke samme elementer som er benyttet ved Gamma-metoden. For en mer oversiktlig modell, benyttes det her utregning i Excel, da det er mange mellomregninger i denne metoden. Starter først med et element med gjennomgående C24 kvalitet og med samme dimensjoner som tidligere. Fra figur 13, ser man de ulike avstandene som må beregnes i modellen. Y-verdiene blir her ikke så relevante, da de benyttes til å regne ut Z-aksen, altså elementets tyngdepunktakse. Her benyttes symmetriske tverrsnitt, og Z vil derfor være lik  $h_{tot}/2$ .

	(mm)		(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )
$h_1$	= 40	$E_0$	= 11000	$E_{90}$	= 367
$h_2$	= 30	$E_0$	= 11000	$E_{90}$	= 367
$h_3$	= 40	$E_0$	= 11000	$E_{90}$	= 367
$h_4$	= 30	$E_0$	= 11000	$E_{90}$	= 367
$h_5$	= 40	$E_0$	= 11000	$E_{90}$	= 367

Som nevnt i teorikapitlet, settes E-modul for de tverrgående sjiktene lik  $E_{90} = E_0/30$ . Verdien  $E_0$  brukes ved beregning av de langsgående sjikt, og  $E_{90}$  brukes for de tverrgående sjikt.

Videre er:

$$\begin{array}{rclclcl} & & & (\text{mm}) & & (\text{mm}) \\ h_{\text{tot}} & = & & 180 & Z & = & 90 \\ b & = & & 1000 & & & \end{array}$$

Igjen har vi at:

$$(EI)_{\text{eff}} = B_A + B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2$$

Velger først å beregne for bjelke A:

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12}$$

$$E_1 I_{A1} = 5,87 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 I_{A2} = 8,26 \times 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$E_3 I_{A3} = 5,87 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$E_4 I_{A4} = 8,26 \times 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$E_5 I_{A5} = 5,87 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = 1,78 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Videre utregnes formelen for bjelke B som innehar Steiner sats:

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2$$



Setter inn verdiene for  $z_i$ (mm):

$$\begin{aligned} Z_1 &= 70 \\ Z_2 &= 35 \\ Z_3 &= 0 \\ Z_4 &= -35 \\ Z_5 &= -70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 I_{B1} &= 2,16 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \\ E_2 I_{B2} &= 1,35 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \\ E_3 I_{B3} &= 0 \text{ Nmm}^2 \\ E_4 I_{B4} &= 1,35 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \\ E_5 I_{B5} &= 2,16 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2 = 4,34 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Til slutt summeres verdiene for  $B_A$  og  $B_B$ :

$$(EI)_{eff} = B_A + B_B = 1,78 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2 + 4,34 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 4,52 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

### **Beregning av bøyestivhet ved Shear Analogy Method med C30 og C18**

Benytter også "Shear Analogy Method" til beregning av oppsettet med C30 og C18 som i Gamma-metoden. Setter opp følgende oppsett:

	(mm)		(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )
$h_1$	= 40	$E_0$	= 12000	$E_{90}$	= 367
$h_2$	= 30	$E_0$	= 9000	$E_{90}$	= 300
$h_3$	= 40	$E_0$	= 9000	$E_{90}$	= 300
$h_4$	= 30	$E_0$	= 9000	$E_{90}$	= 300
$h_5$	= 40	$E_0$	= 12000	$E_{90}$	= 367

Totalhøyde, bredde på elementet og avstand til tyngdepunktaksen blir som før:

$$\begin{array}{rcll} & & (\text{mm}) & & (\text{mm}) \\ h_{\text{tot}} & = & 180 & Z & = & 90 \\ b & = & 1000 & & & \end{array}$$

Formelen for effektiv bøyestivhet:

$$(EI)_{\text{eff}} = B_A + B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2$$

Bjelke A:

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12}$$

$$E_1 I_{A1} = 6,4 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$E_2 I_{A2} = 6,75 \times 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$E_3 I_{A3} = 4,8 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$E_4 I_{A4} = 6,75 \times 10^8 \text{ Nmm}^2$$

$$E_5 I_{A5} = 6,4 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2$$

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = 1,77 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Bjelke B:

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2$$

Verdiene for  $z_i$  (mm):

$$\begin{aligned} Z_1 &= 70 \\ Z_2 &= 35 \\ Z_3 &= 0 \\ Z_4 &= -35 \\ Z_5 &= -70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 I_{B1} &= 2,35 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \\ E_2 I_{B2} &= 1,1 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \\ E_3 I_{B3} &= 0 \text{ Nmm}^2 \\ E_4 I_{B4} &= 1,1 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \\ E_5 I_{B5} &= 2,35 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2 = 4,73 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Summerer igjen  $B_A$  og  $B_B$ :

$$(EI)_{eff} = B_A + B_B = 1,77 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2 + 4,73 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 4,90 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Beregning av bøyestivhet ved Shear Analogy Method med C30 og R

$$\begin{aligned} h_{\text{tot}} &= 180 \text{ (mm)} & Z &= 90 \text{ (mm)} \\ b &= 1000 \end{aligned}$$

Formelen for effektiv bøystivhet:

$$(EI)_{eff} = B_A + B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2$$

Bjelke A:

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = \sum_{i=1}^n E_i \times b_i \times \frac{h_i^3}{12}$$

$$\begin{aligned} E_1 I_{A1} &= 6,4 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \\ E_2 I_{A2} &= 5,24 \times 10^8 \text{ Nmm}^2 \\ E_3 I_{A3} &= 3,73 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \\ E_4 I_{A4} &= 5,24 \times 10^8 \text{ Nmm}^2 \\ E_5 I_{A5} &= 6,4 \times 10^{10} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

		(mm)		(N/mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )
h <sub>1</sub>	=	40	E <sub>0</sub>	=	12000	E <sub>90</sub> = 367
h <sub>2</sub>	=	30	E <sub>0</sub>	=	7000	E <sub>90</sub> = 300
h <sub>3</sub>	=	40	E <sub>0</sub>	=	7000	E <sub>90</sub> = 300
h <sub>4</sub>	=	30	E <sub>0</sub>	=	7000	E <sub>90</sub> = 300
h <sub>5</sub>	=	40	E <sub>0</sub>	=	12000	E <sub>90</sub> = 367

$$B_A = \sum_{i=1}^n E_i \times I_i = 1,66 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Bjelke B:

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2$$

Verdiene for  $z_i$  (mm):

$$\begin{aligned} Z_1 &= 70 \\ Z_2 &= 35 \\ Z_3 &= 0 \\ Z_4 &= -35 \\ Z_5 &= -70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 I_{B1} &= 2,352E+12 \text{ Nmm}^2 \\ E_2 I_{B2} &= 8562750000 \text{ Nmm}^2 \\ E_3 I_{B3} &= 0 \text{ Nmm}^2 \\ E_4 I_{B4} &= 8562750000 \text{ Nmm}^2 \\ E_5 I_{B5} &= 2,352E+12 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$B_B = \sum_{i=1}^n E_i \times A_i \times z_i^2 = 4,72 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{eff} = B_A + B_B = 1,77 \times 10^{11} \text{ Nmm}^2 + 4,73 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 4,89 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

## 5.2 Oppsummering av resultater fra beregning av $(EI)_{\text{eff}}$

### Effektiv bøyestivhet ved Mechanically Jointed Beams Theorem/Gamma-metoden

$$(EI)_{\text{eff}}(\text{C24}) = \underline{4,121 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}$$

$$(EI)_{\text{eff}}(\text{C30/C18}) = \underline{4,315 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}$$

$$(EI)_{\text{eff}}(\text{C30/R}) = \underline{4,22 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2}$$

### Effektiv bøyestivhet ved Shear Analogy Method

$$(EI)_{\text{eff}}(\text{C24}) = 4,52 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{\text{eff}}(\text{C30/C18}) = 4,90 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$(EI)_{\text{eff}}(\text{C30/R}) = 4,89 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Som man ser av tallene, gir de to metodene benyttet for utregning noe forskjellige svar. Dette har med å gjøre at gamma-metoden inneholder faktoren  $\gamma$ , som tar hensyn til skjærdeformasjoner knyttet til lengden av elementet, og dets innvirkning på bøyestivheten. Man ser også at eksemplene med C30/C18 og C30/R er vesentlig stivere enn C24-elementet, men at forskjellen mellom C30/18 og C30/R er liten selv om rejectvirket her er satt som C14. Dette tyder på at de ytterste lamellene gir det største bidraget til bøyestivhet.

### 5.3 Optimalisering av element basert på statistiske sorteringsdata fra sagbruk

Med beregningene som er gjort som et teoretisk bidrag for effektiv bøyestivhet,  $EI_{\text{eff}}$ , er det interessant å se videre hva man kan gjøre for å få et optimalisert element i forhold til hva som er utsortert på sagbruket. Av statistikken som fremgår, har det blitt gjort mange sorteringer på C30 og reject. Det er ønskelig å se hvor stor prosentandel reject-materialet utgjør av sorteringen som er gjort av C30-virke. Det er utført sorteringer i flere dimensjoner, og som nevnt tidligere gir tallene uttrykk for at andelen reject øker når breddene på bordene øker. Velger å benytte tallene hvor bredden på bordene er  $\approx 150$  mm. Det finnes mange sorteringstall for denne dimensjonen, samt at den antas å være noe mer relevant til bruk i massivtre.

Som det ble vist i tidligere beregninger, oppnår man et element med en høyere verdi av effektiv bøyestivhet  $EI_{\text{eff}}$  med oppsett av C30 i yttersjikt og reject i resterende lag, i forhold til et element med gjennomgående C24-kvalitet. Det er derfor interessant å sette opp et element basert på sorteringstallene, og se hvor mye råmateriale man kan spare, men samtidig oppnå lik bøyestivhet som for C24-oppsettet. Det er derfor ønskelig å velge ut relevante sorteringer som er gjort med C30 og reject, og komme fram til en gjennomsnittlig verdi for andelen av de ulike kvalitetene. Velger derfor ut sorteringer som er gjort med bredde  $\approx 150$  mm. I tillegg fokuseres det på sorteringer hvor hovedmengden av rejecten faller under kategorien "R\_05", med andre ord at tilstrekkelig E-modul ikke ble oppnådd. I et element hvor rejecten plasseres i midten av elementet, kunne nok også materiale med for mye kvist og for lav densitet også benyttes, men velger her å benytte virke med få styrkereduserende egenskaper. Setter opp sorteringene som benyttes i en tabell:

Andel R_05 (%)/100	Totalt antall bord	Antall R_05	$T_{av}$	$W_{av}$	$L_{av}$	$m^3$
0,143	25689	3674	39,7	152,9	4830	753,17
0,139	22121	3075	39,7	152,9	4820	647,22
0,149	19666	2930	52,9	152,9	4750	755,57
0,12	7320	878	52,9	152,9	4750	281,23
0,088	19770	1740	51,7	152,5	4660	726,36
0,0069	9048	62	51,7	152,5	4620	329,58
0,111	12700	1410	39,4	152	4790	364,32
0,172	15870	2730	39,4	152	4780	454,30
0,157	11307	1775	39,4	152	4670	316,23
0,146	10073	1471	38	150	4580	262,97
0,135	13223	1785	39,3	152,8	4660	370,03
0,127	5104	648	39,3	152,8	4660	142,83
sum	171891	22178			sum	5403,79

Tabell 6: Andel av reject hvor C30 er sortert ut, og hvor hovedårsaken til nedklassing er for lav E-modul. Det er også lagt ved gjennomsnittlig tykkelse, bredde og lengde på bordene, samt total  $m^3$ .

Bruker vi tallene fra tabell 6, kan vi finne gjennomsnittlig andel reject av de totalt 171891 bordene der hvor C30 er sortert ut, og hovedårsak til nedklassing for rejectvirke er E-modul lavere enn grensen til C30 som er 12 000 N/mm<sup>2</sup> etter NS-EN 338. Vi får:

$$\text{Totalt gjennomsnittlig andel av } R_{05} = \frac{22178}{171891} \times 100\% = 12,9\%$$



Som det fremkommer av tabellen er det et gjennomsnitt på 12,9% reject på sorteringer gjort med C30/R og hvor bredden på bordene er  $\approx 150$  mm. Med dette kjent er det ønskelig å sette opp et element som tilfredsstillende denne andelen. Velger derfor å sette opp følgende element:

	40	C30
	37	C30
177	23	R
	37	C30
	40	C30

**Figur 14: Element satt opp av C30 og reject basert på sorteringsstatistikk fra sagbruk**

Elementet på figur 14 har en totaltykkelse på 177 mm, og består av C30 kvalitet, med unntak av midtlamellen som består av reject. Andelen reject i dette elementet blir derfor  $23/177 = 12,99\%$ , som er en andel som stemmer godt overens med utsortert andel. Målet med oppsettet ved dette elementet, var å unngå å redusere tykkelsen på ytterlamellene, da disse i C30-kvalitet vil ha en stor innflytelse på total bøyestivhet. Tverrlamellene har fått en noe økt tykkelse i forhold til tidligere eksempler, og midtlamellen har fått en mye lavere tykkelse for å havne i nærheten av utsortert andel på 12,9%. Benyttes formlene for bøyestivhet ved Gamma-metoden og Shear Analogy Method ender dette elementet opp med en effektiv bøyestivhet,  $EI_{\text{eff}}$  på hhv.  $4,17 \times 10^{12}$  N/mm<sup>2</sup> og  $4,67 \times 10^{12}$  N/mm<sup>2</sup>, noe som begge er over oppnådd bøyestivhet i et C24-element med en totaltykkelse på 180 mm.

Man ender da opp med et element med en redusert tykkelse på 1,67%.

Det kan også være hensiktsmessig å studere sorteringstallene for C24. Disse er lagt til i følgende tabell:

Andel R (%)/100	Totalt antall bord	Antall R
0,006	6937	42
0,006	29323	176
0,006	26393	158
0,006	12703	76
0,005	6944	35
0,04	4636	185
sum	86936	672

**Tot. andel reject                      0,77 %**

*Tabell 7: Andel reject fra C24-sortering der for lav E-modul er hovedårsak til nedklassing*

Tabellen viser utsortert C24 og R, med samme dimensjoner som utsortert C30 og R. Som man ser fra tabellen er det lite reject knyttet til sortering av C24-virke. Det er derfor rimelig å anta at nesten all utsortert C24-kvalitet kan benyttes, og at man hadde fått tilnærmet samme resultat dersom det skulle blitt utsortert C24 fra materialene i tabell 6 og ikke C30. Regner man da med at prisen for mengden materialer er lik uavhengig av hvordan de er sortert, vil man dermed spare 1,67% ved bruk av elementet med C30 og reject. Ser man på dimensjonene og lengdene på bordene utsortert for C30/R, ender man opp med en total  $m^3$  på  $5403,79 m^3$ . Regner man da med en standardbredde på elementet på 2,40 m, vil man derfor få:

$$C24 \text{ oppsett: } 0,180 m \times 2,40 m = 0,432 m^2$$

$$\frac{5403,79 m^3}{0,432 m^2} = 12508,77 m$$

$$C30, R \text{ oppsett: } 0,177 m \times 2,40 m = 0,4248 m^2$$

$$\frac{5403,79 m^3}{0,4248 m^2} = 12720,79 m$$

$$12720,79 m - 12508,77 m = 212 m$$

Fra utregningen ser vi at vi får 212 lengre løpemeter med det nye elementet av sorteringen som er gjort med C30- og reject-virke, gitt at elementene blir satt opp med en bredde på 2,40 m.

Man kan igjen diskutere fastsetting av E-modul for reject-virke. Det er rimelig å anta at denne forskjellen mellom C24-elementet og C30/reject kunne vært enda større, da E-modulen til rejecten har blitt satt til en lav E-modul på 7000 N/mm<sup>2</sup>. Grunnen til dette er at det er en stor usikkerhet knyttet til fastsettelse av E-modul for dette virket.

Rapporten til Kilde et.al. viser en utleggs-E-modul på >9000 N/mm<sup>2</sup>, i tillegg kunne sagbrukstatistikken vise en høy gjennomsnittlig E-modul på de ulike partiene på 10-11000 N/mm<sup>2</sup>. Problemet med dette virket er at E-modulen kan kunne sprike over en bred skala, selv tatt i betraktning at nabo-bord i laget vil kunne veie opp for bord med lav E-modul (Kilde et.al). E-modulen har uansett blitt satt til 7000 N/mm<sup>2</sup> for rejecten for å være på den sikre siden i beregningen.

Det er ikke valgt å utføre en optimering når det kommer til sortering av C30 og C18, da det er gjort få sorteringer av disse i kvalitetene i forhold til sorteringer gjort med C24 og C30/R, særlig med bordbredde  $\approx$ 150 mm. I følge informanten fra sagbruket blir det også mindre av kvaliteten C18. C24 har tatt over for denne kvaliteten, og den er ikke like etterspurt i markedet som før. Når det kommer til beregning av bøyestivhet, kan man også se at forskjellene på element med C30/C18 kontra element med C30/reject ikke er veldig store, selv om rejecten er satt som C14-kvalitet.

Et annet viktig punkt er pris. Ved optimeringen av det nye elementet er det tenkt at prisen for hvert parti med materialer er lik uavhengig av måten den er sortert på. Maskinen som sorterer ut virket utgjør samme jobb uansett hvilket virke som skal sorteres ut og informanten fra sagbruket hevder det er marginale kostnadsforskjeller knyttet til denne sorteringen. Et annet aspekt er at markedet kan styre prisen på ferdig sortert virke. Når det kommer til pris per m<sup>3</sup> på virke som skal kunne benyttes til massivtre, tyder mye på at dette er et usikkerhetsmoment. Ingen av informantene i intervjustudiet kunne si noe fast om hva pris på ulike typer virke faktisk koster. Den eneste opplysningen som kom fram, var at man kunne anta en 350-400 kr rimeligere pris pr. m<sup>3</sup> for reject-virke, og at man må kunne regne med 200 kr høyere pris for C30-virke pr. m<sup>3</sup>. En annen informant hevdet at industrien for bruk av norsk virke til massivtre ikke er godt nok etablert, og at usikkerheten rundt pris kan knyttes til dette.

Denne informanten legger heller ikke skjul på at stordriftsfordeler kan kunne oppstå for en massivtreprodusent som skal produsere elementer i et stort antall, og kan potensielt kjøpe mye materialer fra sagbruket.

Informanten fra sagbruket poengterer også at dersom man skal kunne få en lavere pris for rejecten pr. m<sup>3</sup>, må man kunne ta materialet som det er. Dvs. at prisen på dette virket vil gå opp dersom sagbruket må utføre en ekstra sorteringsjobb visuelt, knyttet til faktorer som kvist, råte, ugunstig vridning osv. Dette er også faktorer som gjør bruk av reject til massivtre noe ugunstig, fordi det er slike faktorer som svekker rejectens renommé i forhold til anvisninger som er gitt i standarder og forskrifter. Informanten fra massivtrefabrikken informerer også om at det er ugunstig for dem i deres produksjon å sortere virke utover det som kommer fra sagbruket. Med andre ord er det et problem å anslå hvor den ekstra sorteringskostnaden knyttet til reject-materialet blir plassert i verdikjeden. Informanten fra massivtrefabrikken poengterer at det er viktig med en lineær prosess i produksjonen, og at eventuelle biprodukter som oppstår kommer vekk fra produksjonslinjen på en effektiv måte. En ekstra sorteringsjobb i begynnelsen av produksjonslinjen vil derfor føre med seg mer jobb, i tillegg til en større lagerplass for dette virket.

I tillegg kan det nevnes at flere kvaliteter inn på en massivtrefabrikk kan føre til flaskehalseeffekter av ulikt slag. Som massivtreprodusentene hevdet, kan flere kvaliteter i en innmatningsmaskin til fingerskjøting gjøre at denne prosessen tar lenger tid enn hvis man kun har én kvalitet å forholde seg til. En slik effekt vil også kunne oppstå ved opplegging av de ulike lamellene til et element. Hvis det da er tilfelle at råstoffkostnadene går ned ved å benytte seg av rejectvirke, vil kanskje dette medføre at produksjonen på fabrikk tar lengre tid, og produksjonslinjen vil ikke være like effektiv. I tillegg kan det antas at rejectvirke krever mer jobb i forhold til justeringer som høvling og kapping for å sikre en best mulig lamell i elementet. Denne eventuelle ekstra kostnaden knyttet til produksjon vil muligens overskride det man kan spare i råstoffkostnader.

Det er helt klart også andre ting som kan kalkuleres for hvorvidt rejectmateriale er gunstig i et massivtreelement. Bøyestivhet ses dog på som svært viktig, da dette vil ha en høy innflytelse på elementets nedbøyning og vibrasjoner. I følge Reinhard Brandner, er det særlig dette som er dimensjonerende for massivtreelementer i lange spenn, og

ikke hvorvidt elementet går i brudd eller ikke. Elementet må uansett være av en viss tykkelse for å tilfredstille brann- og lydkrav. Dette er derimot ikke tatt hensyn til her.

Øvrum (2012) hevder at hovedårsaken til nedklassing av trevirke er fiberforstyrrelser i lengderetning, som i all hovedsak vil være kvist. Maskinen brukt til sagbrukstatistikken sorterer derimot ut lite reject grunnet dette. Det kan derfor antas at andelen reject vil øke når også visuell styrkesortering er gjennomført, da denne metoden er noe strengere på kvist enn hva maskinen ofte er (Brandner, 2013). Informant 5 og 6 var inne på at kvist i midten av et tverrsnitt vil ha mindre betydning enn for kvist i ytterlamellene. Her er bøyespenningen minimal, og fiberforstyrrelse i lengderetning vil ikke spille en like stor rolle.

Informant 5 og 6 hevdet at man ikke kan sette to streker under en slik sorteringstatistikk, da disse tallene kan være helt annerledes for et annet sagbruk, også med tanke på hvor i landet man befinner seg. Det er derimot en god pekepinn for hvordan det kan være, særlig med sorteringsdata av en slik størrelse.

## 6. Konklusjon

Før en endelig konklusjon, ønskes det å svare på delmålene fra kapittel 1.2.

**1. På hvilken måte kan reject-virke gjøre produksjon av massivtre mer kostnadseffektivt?**

I all hovedsak gjelder dette lavere råstoffkostnader. I tillegg kan gunstig sortering gjøre at man potensielt får ut mer av hvert enkelt parti med råmateriale.

**2. Er reject-virke tilgjengelig på sagbruk i den grad at det har potensiale for å kunne inngå i et massivtreelement?**

Statistikken fra sagbruket viser at reject er absolutt oppstår i en viss mengde, men at det ikke nødvendigvis er slik på andre sagbruk.

**3. Hvordan vil bøyestivheten endre seg i forhold til hvilke kvaliteter som inngår i et massivtreelement?**

Beregningene viser at tykkelsen kombinert med kvaliteten til de ytterste elementene har mest å si for bøyestivheten. Kvaliteten på bordene innenfor har ikke et like stort bidrag.

**4. Hvilke utfordringer ligger til grunn ved bruk av reject-virke?**

Det er pr. i dag en stor usikkerhet rundt pris. Mye tyder på at industrien ikke er godt nok etablert. I tillegg kan flere kvaliteter forhindre en standardisert produksjon på fabrikk. Det kan også nevnes at standardene som følges i dag har strenge krav i forhold til hvilke kvaliteter som inngår i et massivtreelement.

Ved å trekke problemstillingen fram:

”Hva er potensialet ved økt bruk av rejectmateriale i norsk massivtreproduksjon?”, er svaret:

*Utsortert C30 sammen med den rejecten som oppstår har et potensiale i å få en høyere utnyttelsesgrad av et parti råmaterialer, enn hva utsortert C24 har. Dette kan bidra til et sterkere element med lavere råstoffkostnader.*

## **6.1 Resultatets betydning for norsk massivtreproduksjon**

Dette studiet har konkludert med at det er et stort potensiale ved å utnytte råmaterialene til massivtreproduksjon på en best mulig måte. Oppgaven gir også et innblikk på hvilke andeler av kvaliteter som kan kunne oppstå fra sagbruksortering, og hvordan disse tallene kan benyttes for å sette opp et element med en høy utnyttelsesgrad av råstoffet. Oppgaven viser også at det er en del ulike meninger om hvor potensialet ved å benytte dårligere virke ligger, og særlig da reject. Uten at konklusjonen kan verifiseres 100%, viser den uansett at det er et potensiale i å utforske utnyttelsen av råstoff.

Opgaven har dog noen begrensninger, og for videre forskning vil problematikken rundt pris på råmateriale til massivtre bidra til å konkludere problemstillingen nærmere. I tillegg vil det være interessant å se hvilke evt. økte produksjonskostnader det å innføre flere kvaliteter i en massivrefabrikk kan forårsake, og hvorvidt denne ekstrakostnaden overskrider den eventuelle råstoffkostnaden man sparer ved å benytte reject i elementet. Det trengs også dypere analyser av hvordan rejectmateriale fysisk vil fungere i et element, hvor det tas hensyn til hvilke styrereduserende faktorer man kan godta. Dette gjelder for eksempel virke med lav densitet eller for mye kvist. Det kan også være interessant å se om dårligere virke gir dårligere heft av lim i elementet.

## 7. Litteraturliste

Karacebeyli, E, Desjardins, R. (2011) *CLT Handbook*.

Quebec, FPInnovations

Øvrum, A, (2012) Konstruksjonsvirke. *FOKUS på tre nr. 43*

TreFokus, Treteknisk. Tilgjengelig fra:

[http://www.esas.no/pdf/Fokus\\_43\\_2012\\_Konstruksjonsvirke\\_B78-7.pdf](http://www.esas.no/pdf/Fokus_43_2012_Konstruksjonsvirke_B78-7.pdf)

Aarstad, J, Glasø, G. (2011) Massivtre. *FOKUS på tre nr. 20*

TreFokus. Treteknisk. Tilgjengelig fra:

<http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-20.pdf>

Forest Products Laboratory (2010) *Wood Handbook – Wood as an Engineering Material, Centennial Edition*. Madison, Wisconsin: United States

Department of Agriculture Forest Service

Mestek, P, Kreuzinger, H, Winter, Stefan. (2008) *Design of Cross Laminated Timber (CLT)*. Munich, Germany, Chair of Timber Structures and Building Construction, Technical University Munich

Regjeringa.no (2016) *Skogbruk*. Sist oppdatert 29.04.2016

Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/skogbruk/innsikt/skogbruk/id2009516/> [lest 13.12.2016]

Dynalyse (u.å) *Dynagrade*

Tilgjengelig fra: <http://dynalyse.se/dynagrade/>, [lest 11.12.16]

Dynalyse (u.å) *Precigrader*

Tilgjengelig fra: <http://dynalyse.se/precigrader/>, [lest 11.12.2016]

Brandner, R. (2013) *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report*. Graz, Østerrike: Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology

Kilde, V. (2004) *Råstoff til massivtreelementer – En aktivitet i SSFF-prosjektet*, Norsk Treteknisk Institutt



- De nasjonale forskningsetiske komiteene (2010) *Kvalitative og kvantitative Forskningsmetoder – likheter og forskjeller*. Sist oppdatert 15.01.2010  
Tilgjengelig fra: <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/medisin-og-helse/kvalitativ-forskning/1-kvalitative-og-kvantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/>, [lest 12.12.16]
- Sander, K. (2016) *Kvalitative intervjumetoder for datainnsamling*  
Tilgjengelig fra: <http://estudie.no/kvalitative-metoder/>, [lest 12.12.16]
- Sutton, A, Black, D, Walker, P. (2011) *Cross-Laminated Timber – An introduction to low impact building materials*, University of Bath
- Myhra, H.H. (1999) *Utbytte ved maskinell styrkesortering av Konstruksjonstrevirke i Norge*, Norsk Treteknisk Institutt  
Norsk Massivtre (u.å) *Tresorter*  
Tilgjengelig fra: <http://www.norskmassivtre.no/elementer/tresorter/>  
[lest 14.12.16]
- Kunøe, C. (2014) *Massiv studentby på Moholt*, Byggmesteren  
Tilgjengelig fra: <https://byggmesteren.as/2014/12/01/massiv-studentby-pa-moholt/>, [lest 13.12.16]
- Sander, K. (2014) *Reliabilitet*  
Tilgjengelig fra: <https://estudie.no/reliabilitet/>, [lest 14.12.16]
- Sander, K (2016) *Validitet*  
Tilgjengelig fra: <https://estudie.no/validitet/>, [lest 14.12.16]
- Roald, T, Køppe, S. (2008) *Generalisering i kvalitative metoder*, Psyke & Logos
- Mohammad, M, Gagnon, S, Bradford, D.K, Podesto, L (2012) *Introduction to Cross Laminated Timber*
- Standard Norge (2016) *Konstruksjonstrevirke – Fasthetsklasser*, NS-EN 338  
Norsk institutt for bioøkonomi (u.å) *Hva er bonitet?*  
Tilgjengelig fra: [http://www.skogoglandskap.no/faq/bonitet/default\\_view](http://www.skogoglandskap.no/faq/bonitet/default_view),  
[lest 14.12.2016]
- Wallner-Novak, M, Koppelhuber, J, Pock, K. (2014) *Cross-Laminated Timber Structural Design – Basic design and engineering principles according to Eurocode*, pro:Holz

## Figurliste

Figur 1 – Krysslimt massivtre.....	2
Figur 2 – Kantstilt element med skruer.....	2
Figur 3 – Hytte i massivtre.....	2
Figur 4 – Studentboliger på Ås.....	2
Figur 5 – Ulsmåg skole i Bergen.....	2
Figur 6 – Produksjon av CLT-element.....	10
Figur 7 – Tverrsnitt av massivtreelement med bøyepåkjenninger.....	11
Figur 8 – Avstander i Gamma-metoden.....	12
Figur 9 – Oppsett for Shear Analogy Method.....	15
Figur 10 – Tverrsnitt av CLT-element med C24.....	28
Figur 11 – Tverrsnitt av CLT-elmenet med C30 og C18.....	31
Figur 12 – Tverrsnitt av CLT-element med C30 og Reject.....	32
Figur 13 – Tverrsnitt med avstander til Shear Analogy Method.....	34
Figur 14 – Tverrsnitt av CLT-element basert på sortering- Statistikk fra sagbruk.....	44

## Tabelliste

Tabell 1 – Karakteristiske verdier for mest brukte fasthetsklasser.....	7
Tabell 2 – Korresponderende klasser i NS-INSTA 142 og NS-EN 338...	8
Tabell 3 – Liste over informanter i intervjustudie.....	20
Tabell 4 – Klassifisering av reject.....	26
Tabell 5 – Utsnitt av sorteringstatistikk fra vedlegg A.....	27
Tabell 6 – Andel av reject der C30 er sortert ut.....	43
Tabell 7 – Andel reject der C24 er sortert ut.....	45

# VEDLEGG A

GradeComb	TAv(mm)	WAV(mm)	LAV(m)	MCAV(%)	NoOfPieces	%Total	G1	%G1	G2	%G2	%R01	%R02	%R03	%R04	%R05	%R06	%R07	%R08	Efavn_Av(M)	Dens_Av(kg)	L_Av(m)	Date	Time"		
"PG04208: R / C18 / C30	52.6	127.4	4.63	20	857	0.4	C18	9.9	C30	89.7	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	10979	437	4.6	2015-08-18 15:00:46"		
"PG04208: R / C18 / C30	52.6	203.4	4.91	20	16297	1.8	C18	19.2	C30	79	0.1	0.1	0.3	0	0.7	0	0	0	0.5	10470	432	4.9	2015-08-17 10:06:29"		
"PG04208: R / C18 / C30	52.6	203.4	4.91	20	9317	1.4	C18	20.7	C30	77.8	0.1	0.1	0.4	0	0.8	0	0	0	0	10356	433	4.9	2015-08-14 15:06:42"		
"PG04106: R / C30	52.6	102.7	4.7	20	19509	4.9	C30	95.1	0	0	0	0	0.3	0	4.5	0	0	0	0	11936	464	4.7	2015-08-14 08:37:49"		
"PG04106: R / C24	65.5	152.8	4.93	20	4636	4	C24	96	0	0	0	0	0.4	0	2.6	0	0	0	0	12061	468	4.7	2015-08-13 15:02:00"		
"PG04106: R / C30	39.5	152.8	4.87	20	11482	11.9	C30	88.1	0	0	0.1	0.1	0.4	0.1	0	0	0	0	3.3	11742	451	4.9	2015-08-13 11:35:40"		
"PG04103: R / C24	51.9	157.3	4.8	14	4869	0.7	C24	99.3	0	0	0	0	0.2	0	0.4	0	0	0	0	11268	446	4.9	2015-08-11 13:14:32"		
"PG04106: R / C30	51.9	228.3	4.6	20	5168	24.5	C30	75.5	0	0	0	0.2	0	2.1	0	0	0	0	0	10339	425	4.6	2015-08-07 08:58:07"		
"PG04106: R / C30	51.9	228.3	4.73	20	2277	25.3	C30	74.7	0	0	0.1	0.1	0	0.2	0	0	0	0	0	10336	424	4.7	2015-08-06 15:00:19"		
"PG04106: R / C30	39.2	103.3	4.69	20	13674	8.1	C30	91.9	0	0.2	0	0.5	0.1	36.9	0	0	0	0	0	9616	421	4.8	2015-08-06 13:39:57"		
"PG04106: R / C30	39.2	103.3	4.68	20	10190	8.6	C30	91.4	0	0.1	0	0.7	0	7.3	0	0	0	0	0	11832	462	4.7	2015-08-06 07:28:38"		
"PG04106: R / C30	39.2	204.3	4.83	20	4898	19.2	C30	80.8	0	0.1	0	0.7	0	7.8	0	0	0	0	0	11874	461	4.7	2015-08-05 15:06:16"		
"PG04106: R / C30	39.2	126.3	4.64	20	12790	13.3	C30	86.7	0	0.2	0.2	1.5	0	11.4	0	0	0	0	0	10554	434	4.8	2015-08-05 08:29:27"		
"PG04103: R / C24	51.9	203.9	4.84	20	3077	1.6	C24	98.4	0	0.1	0	0.2	0	1.3	0	0	0	0	0	10495	430	4.8	2015-07-09 12:23:34"		
"PG04106: R / C30	51.9	203.9	4.86	20	13730	25	C30	75	0	0.1	0.1	0.4	0	23.3	0	0	0	0	0	10254	427	4.9	2015-07-09 10:48:50"		
"PG04106: R / C30	51.9	203.9	4.9	20	6046	24.2	C30	75.8	0	0.1	0.1	0.5	0	2.7	0	0	0	0	0	10227	429	4.9	2015-07-08 15:09:16"		
"PG04103: R / C24	39.7	152.9	4.87	20	6003	1.9	C24	98.1	0	0.3	0	0.9	0	0.7	0	0	0	0	0	10982	438	4.9	2015-07-07 11:21:26"		
"PG04106: R / C30	39.7	152.9	4.83	20	25689	15	C30	85	0	0.1	0	0.5	0	14.3	0	0	0	0	0	10988	439	4.8	2015-07-07 08:27:34"		
"PG04106: R / C30	39.7	152.9	4.82	20	22121	14.6	C30	85.4	0	0.1	0	0.5	0	13.9	0	0	0	0	0	11003	439	4.8	2015-07-06 15:01:37"		
"PG04106: R / C30	52.9	152.9	4.75	20	19666	15.5	C30	84.5	0	0.1	0	0.3	0.1	14.9	0	0	0	0	0.1	10845	434	4.7	2015-07-02 12:00:09"		
"PG04106: R / C30	38.9	203.7	4.89	20	7320	12.3	C30	87.7	0	0.1	0	0.3	0	12	0	0	0	0	0	11007	435	4.8	2015-07-01 18:44:36"		
"PG04106: R / C30	38.9	203.7	4.86	20	14526	19.8	C30	80.2	0	0.1	0	0.3	0	13.4	0	0	0	0	0	10543	437	4.9	2015-07-01 10:49:37"		
"PG04106: R / C30	38.9	203.7	4.86	20	5233	22.4	C30	77.6	0	0	0	0.3	0	22	0	0	0	0	0	10460	438	4.9	2015-06-30 18:41:09"		
"PG04106: R / C30	38.9	102.3	4.78	20	10876	8.4	C30	91.6	0	0.1	0.1	0.7	0	7.5	0	0	0	0	0	11889	469	4.5	2015-06-30 16:17:48"		
"PG04103: R / C24	51.9	152.6	4.78	14	6937	0.6	C24	99.4	0	0	0	0.2	0	0.3	0	0	0	0	0	11461	433	4.8	2015-06-30 10:16:26"		
"PG04103: R / C24	65.3	152.6	4.8	20	29323	0.6	C24	99.4	0	0.1	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0	11467	449	4.8	2015-06-29 07:56:06"		
"PG04103: R / C24	65.3	152.6	4.81	20	26393	0.6	C24	99.4	0	0.1	0.1	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0	11494	449	4.8	2015-06-26 14:56:38"		
"PG04106: R / C30	51.9	102.3	4.55	20	19085	0.4	C18	3.4	C30	96.2	0	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0	11525	447	4.8	2015-06-25 19:02:51"		
"PG04208: R / C18 / C30	51.9	102.3	4.59	20	13428	0.4	C18	3.9	C30	95.7	0	0	0.3	0	0.1	0	0	0	0	0	12152	476	4.6	2015-06-25 08:13:44"	
"PG04201: R / C16 / C24	48	102.3	4.59	20	1	100	C16	0	C24	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	12114	474	4.6	2015-06-24 15:06:34"		
"PG04103: R / C24	51.7	102.3	4.57	20	6944	0.5	C24	99.5	0	0.1	0	0.3	0	0.2	0	0	0	0	0	12026	476	4.6	2015-06-18 09:27:06"		
"PG04106: R / C30	51.7	152.5	4.66	20	19770	9.4	C30	90.6	0	0.1	0	0.3	0.3	8.8	0	0	0	0	0	11483	445	4.7	2015-06-17 11:25:56"		
"PG04106: R / C30	51.7	152.5	4.62	20	9048	7.8	C30	92.2	0	0	0	0.2	0.7	6.9	0	0	0	0	0	11687	448	4.6	2015-06-16 15:28:34"		
"PG04106: R / C30	39.4	202.7	4.8	20	5021	20.3	C30	79.7	0	0.1	0	0.5	0	19.7	0	0	0	0	0	10585	424	4.8	2015-06-16 11:47:05"		
"PG04106: R / C30	39.4	152	4.79	20	34198	23.7	C30	76.3	0	11.3	0	1.4	0	11.1	0	0	0	0	0	11150	443	4.8	2015-06-10 07:41:30"		
"PG04106: R / C30	39.4	152	4.78	20	29374	25	C30	75	0	12.7	0	1.4	0	10.9	0	0	0	0	0	11151	443	4.8	2015-06-09 15:00:59"		
"PG04106: R / C30	38	150	4.58	20	4590	18.7	C30	81.3	0	4.4	0	1.7	0	12.5	0	0	0	0	0	11194	438	4.7	2015-06-08 15:01:46"		
"PG04106: R / C30	50	225	4.62	20	5847	22.7	C30	77.3	0	1.5	0	4	0	2.1	0	0	0	0	0	11338	449	4.6	2015-06-08 13:34:46"		
"PG04106: R / C30	51.7	227.7	4.78	20	3414	31.9	C30	68.1	0	0.1	0	0.4	0.1	22.1	0	0	0	0	0	10582	444	4.6	2015-06-08 12:29:59"		
"PG04106: R / C30	50	200	4.76	20	11264	15.3	C30	84.7	0	0.1	0.1	0.4	0	31.4	0	0	0	0	0	9891	429	4.8	2015-06-08 09:37:10"		
"PG04106: R / C30	51.9	202.7	4.77	20	3038	29.8	C30	70.2	0	0.2	0	0.4	0	15	0	0	0	0	0	11004	456	4.8	2015-06-04 14:28:55"		
"PG04106: R / C30	51.9	202.7	4.74	20	659	39.2	C30	60.8	0	0	0	0.8	0	38.4	0	0	0	0	0	9444	427	4.7	2015-06-03 15:06:11"		



GradeComb	TAu(mm)	WAv(mm)	LAV(m)	MCAV(%)	NoOPiece	%Total	R	G1	%G1	G2	%G2	%R_01	%R_02	%R_03	%R_04	%R_05	%R_06	%R_07	%R_08	Edyn_Av(M)	Dens_Av(kg/L)	Av(L_Av(m))	Date	Time"
"PG04106: R / C30	51.9	202.7	4.84	20	302	37.1	C30	62.9	0	0	0	0	0	0.3	23.2	13.6	0	0	0	0	10437	447	4.8	2015-06-03 14:43:25"
"PG04106: R / C30	51.9	202.7	4.78	20	859	25.3	C30	74.7	0	0	0	0.1	0	0.2	8.6	16.3	0	0	0	0	10625	450	4.8	2015-06-03 14:34:57"
"PG04103: R / C24	39.6	102.7	4.63	20	4134	1.7	C24	98.3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	11480	452	4.6	2015-06-01 10:44:03"
"PG04103: R / C24	39.6	102.7	4.54	20	3083	12.9	C24	87.1	0	0	0	0	0	1.2	11.1	0.6	0	0	0	0	11113	451	4.5	2015-06-01 09:02:15"
"PG04208: R / C18 / C30	51.6	102.7	4.7	20	11932	5.4	C30	94.6	0	0	0	0	0	0.3	0	5	0	0	0	0	12097	470	4.7	2015-05-28 12:29:33"
"PG04208: R / C18 / C30	39.5	127.7	4.54	20	2014	6.5	C30	92.7	0.1	0	0	0.6	0	0.1	0	0	0	0	0	0	11941	478	4.7	2015-05-28 09:42:03"
"PG04208: R / C18 / C30	51.9	153.7	4.61	20	13547	1.7	C18	10.1	C30	88.2	0.2	0.1	1	0	0.1	0.2	0	0	0	0	11341	444	4.5	2015-05-27 14:49:11"
"PG04208: R / C18 / C30	51.9	153.7	4.85	20	5558	0.5	C18	8.8	C30	90.6	0.1	0	0	0.2	0.1	0.2	0	0	0	0	11294	446	4.6	2015-05-27 08:53:53"
"PG04208: R / C18 / C30	51.9	153.7	4.59	20	115	28.7	C18	13.9	C30	57.4	0	0	0	0.7	37.9	0.7	0	0	0	0	10439	458	4.8	2015-05-27 06:56:00"
"PG04208: R / C18 / C30	51.9	153.7	4.59	20	140	39.3	C18	11.4	C30	49.3	0	0	0	1.6	27.4	2.4	0	0	0	0	10202	455	4.6	2015-05-27 06:52:01"
"PG04208: R / C18 / C30	51.9	153.7	4.58	20	124	31.5	C18	12.1	C30	56.5	0	0	0	0.5	12.4	11.9	0	0	0	0	10212	452	4.6	2015-05-27 06:45:14"
"PG04106: R / C30	52.8	153.7	4.72	20	11570	25.1	C30	74.9	0	0.2	0	0.2	0	0.5	12.4	11.9	0	0	0	0	10847	429	4.7	2015-05-27 06:42:45"
"PG04106: R / C30	39.8	153.7	4.73	20	11189	22.8	C30	77.2	0	0.2	0	0.5	0	0.5	9.8	12.3	0	0	0	0	10857	428	4.7	2015-05-26 10:17:29"
"PG04106: R / C30	51.9	203.7	4.83	20	6888	19.1	C30	80.9	0	0.1	0	0.1	0	0.5	0	18.5	0	0	0	0	10578	432	4.8	2015-05-26 10:17:29"
"PG04208: R / C18 / C30	51.3	102.7	4.72	20	9910	22.5	C30	77.5	0	0.1	0.2	0.2	0	0.2	0	22	0	0	0	0	10435	435	4.7	2015-05-21 13:35:27"
"PG04208: R / C18 / C30	51.3	102.7	4.59	20	20029	0.3	C18	4.3	C30	95.3	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	12039	469	4.6	2015-05-19 11:20:58"
"PG04106: R / C30	39.3	152.7	4.61	20	4128	0.3	C18	4.1	C30	95.6	0.1	0	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	11911	467	4.6	2015-05-18 10:59:26"
"PG04208: R / C18 / C30	52.3	102.7	4.51	20	12700	13.6	C30	86.4	0	0.1	0	0.5	0	0.5	0	11.1	0	0	1.8	11373	449	4.5	2015-05-18 10:59:26"	
"PG04103: R / C24	52.3	128.7	4.59	20	11784	0.8	C18	5.3	C30	93.9	0	0.1	0.3	0.3	0	0.1	0	0	0	0	11707	459	4.6	2015-05-11 17:58:43"
"PG04106: R / C30	39.3	102.7	4.47	20	9398	0.8	C24	99.2	0	0	0	0	0	0.9	0	7.3	0	0	0	0	11304	447	4.6	2015-05-11 14:57:08"
"PG04106: R / C30	39.3	102.7	4.47	20	11531	8.3	C30	91.7	0	0	0	0	0	0.9	0	7.3	0	0	0	0	11866	458	4.5	2015-05-11 11:11:22"
"PG04106: R / C30	39.3	102.7	4.79	20	504	9.7	C30	90.3	0	0	0	0	0	0.6	0	9.1	0	0	0	0	11866	458	4.5	2015-05-11 10:53:46"
"PG04106: R / C30	51.7	152.9	4.72	20	15870	17.9	C30	82.1	0	0.2	0	0.2	0	0.5	0	17.2	0	0	0	0	11392	453	4.8	2015-05-08 15:00:30"
"PG04106: R / C30	51.7	152.9	4.76	20	11307	16.2	C30	83.8	0	0.1	0	0.3	0	0.3	0	15.7	0	0	0	0	10741	436	4.7	2015-05-08 08:22:20"
"PG04106: R / C30	39.7	203.9	4.7	20	3316	21.9	C30	78.1	0	0.2	0.2	0.5	0.1	20.8	0	0	0	0	0	0	10818	437	4.8	2015-05-07 15:01:23"
"PG04106: R / C30	44.6	88.5	2.82	12	1	100	C30	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14170	610	2.8	2015-05-05 11:44:34"
"PG04106: R / C30	39.6	203.5	2.83	20	1	100	C30	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	6895	299	2.8	2015-05-05 11:35:44"
"PG04106: R / C30	39.6	203.5	4.67	20	3071	20.2	C30	79.8	0	0.2	0	0.4	0	0.4	0	19.5	0	0	0	0	10477	423	4.7	2015-05-05 11:31:03"
"PG04106: R / C30	39.6	153.5	4.75	20	10073	15.3	C30	84.7	0	0.1	0	0.6	0	0.6	0	14.6	0	0	0	0	10914	435	4.8	2015-05-04 13:13:27"
"PG04103: R / C24	51.6	103.5	4.62	20	12150	5.9	C30	94.1	0	0	0	0	0	0.4	0	5.5	0	0	0	0	11880	457	4.6	2015-04-30 16:35:02"
"PG04106: R / C30	51.6	204.3	4.72	20	3862	1.6	C24	98.4	0	0	0.1	0.3	0	0.3	0	1.2	0	0	0	0	10216	421	4.7	2015-04-29 10:43:46"
"PG04106: R / C30	51.6	204.3	4.71	20	15895	26.4	C30	73.6	0	0.1	0.1	0.4	0	0.4	0	25.8	0	0	0	0	10192	426	4.7	2015-04-29 08:02:51"
"PG04208: R / C18 / C30	39.3	126.3	4.52	20	12257	1.9	C18	10.6	C30	87.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0	0	0	0	10216	427	4.7	2015-04-28 18:09:18"
"PG04106: R / C30	39.3	126.3	4.66	20	7015	2.5	C18	12.5	C30	85	0.1	0.1	0.1	1.4	0.1	0.8	0	0	0	0	11348	447	4.6	2015-04-28 09:38:36"
"PG04106: R / C30	39.3	152.8	4.66	20	13223	14.3	C30	85.7	0	0.2	0	0.2	0	0.6	0	13.5	0	0	0	0	11204	443	4.5	2015-04-27 14:59:11"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.69	20	4705	13.7	C30	86.3	0	0.2	0	0.8	0	0.8	0	12.7	0	0	0	0	11091	441	4.7	2015-04-27 11:36:14"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.77	20	4705	26.2	C30	73.8	0	0.1	0	0.1	0	0.5	0	25.7	0	0	0	0	11175	438	4.7	2015-04-24 15:03:41"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.77	20	1421	10.5	C30	89.5	0	0	0	0	0.2	0	10.3	0	0	0	0	0	10266	443	4.7	2015-04-23 11:05:27"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.74	20	990	9.1	C30	90.9	0	0	0	0	0.3	0	0.3	0	8.8	0	0	0	11568	451	4.8	2015-04-23 06:59:44"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.72	20	4277	28.5	C30	71.5	0	0.1	0	0.7	0	0.7	0	27.7	0	0	0	0	11742	454	4.7	2015-04-22 15:05:17"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.77	20	127	40.2	C30	59.8	0	0	0	0	0	1.6	0	38.6	0	0	0	0	10183	444	4.7	2015-04-22 14:21:14"
"PG04106: R / C30	51.9	225.8	4.63	20	239	35.1	C30	64.9	0	0	0	0	0	0.4	0	34.7	0	0	0	0	10075	443	4.8	2015-04-22 11:26:02"
"PG04106: R / C30	51.9	227.8	4.69	20	352	41.8	C30	58.2	0	0.3	0.3	0	0	0	0	41.2	0	0	0	0	9942	420	4.6	2015-04-22 11:21:45"
"PG04106: R / C30	51.9	227.8	4.76	20	133	44.4	C30	55.6	0	0	0.8	0	0	0	0	43.6	0	0	0	0	9455	406	4.7	2015-04-22 11:02:57"

"GradeComb	TAv(mm)	WAv(mm)	LAv(m)	MCAv(%)	NoOfPieces	%Total_R	G1	%G1	G2	%G2	%R_01	%R_02	%R_03	%R_04	%R_05	%R_06	%R_07	%R_08	Edvln_AV(M	Dens_AV(ke_L	Av(m)	Date	Time"	
"PG04102: R / C18	39.9	77.9	4.21	20	3406	2.5 C18	97.5	0	0	0	0.1	0	1.7	0.2	0.5	0	0	0	0	11777	463	4.2	2015-04-20	09:02:01"
"PG04106: R / C30	51.9	152.9	4.7	20	29315	21.8 C30	78.2	0	0	0	0.2	0.1	0.4	7.9	13.3	0	0	0	0	10910	440	4.7	2015-04-17	08:16:12"
"PG04106: R / C30	51.9	152.9	4.72	20	24946	22.5 C30	77.5	0	0	0	0.2	0.1	0.4	9.3	12.6	0	0	0	0	10956	441	4.7	2015-04-16	15:01:07"
"PG04106: R / C30	51.9	152.9	4.72	20	23931	23.1 C30	76.9	0	0	0	0.2	0.1	0.4	9.7	12.8	0	0	0	0	10932	440	4.7	2015-04-16	14:38:52"
"PG04106: R / C30	51.9	152.9	4.72	20	23780	23.1 C30	76.9	0	0	0	0.2	0.1	0.4	9.6	12.9	0	0	0	0	10930	440	4.7	2015-04-16	14:29:22"
"PG04106: R / C30	51.9	152.9	4.72	20	23707	23 C30	77	0	0	0	0.2	0.1	0.4	9.5	12.9	0	0	0	0	10926	440	4.7	2015-04-16	14:27:15"



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway