

Karen Johanne Breie, Silje Hoem Johansen,
Kristin Nymark Rasmussen

Plukkhogst kvalitet og -egenskaper

Metode for sortering av eldre trevirke

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, bygg

Veileder: Thomas Haavi

Mai 2024

Karen Johanne Breie, Silje Hoem Johansen, Kristin
Nymark Rasmussen

Plukkhogstkvalitet og -egenskaper

Metode for sortering av eldre trevirke

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, bygg
Veileder: Thomas Haavi
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Plukkhogstkvalitet og -egenskaper

Metode for sortering av eldre trevirke

Karen Johanne Breie, Silje Hoem Johansen og Kristin
Nymark Rasmussen

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg
Innlevert: 21. mai 2024
Veileder: Thomas Haavi

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk

Oppgavens tittel:	Dato: 21.05.2024		
Plukkhogstkvalitet og -egenskaper <i>Metode for sortering av eldre trevirke</i>	Antall sider: 102		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave:	x
Navn: Karen Johanne Breie Silje Hoem Johansen Kristin Nymark Rasmussen			
Veileder: Thomas Haavi			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Marthin Landgraff			

Sammendrag:

Med et økende fokus på bærekraftige løsninger vil det være nødvendig å utnytte de ressursene vi har tilgjengelige på en hensiktsmessig måte. For å kunne bruke trevirke fra gamle bygg om igjen er det nødvendig å undersøke kvaliteten til virket, slik at en forsikrer seg om at virket kan benyttes i nye konstruksjoner. Dermed vil vi i denne oppgaven undersøke hvilke metoder for testing av materialeegenskaper som egner seg for ombrukt virke, basert på resultater fra testing av nytt, ferskt virke. Materialene som danner grunnlaget for oppgaven, er hentet med plukkhogst med hensikt å plukke ut gamle trær med høy densitet.

Det testes materialeegenskaper for gran og furu gjennom visuell styrkesortering og det beregnes E-modul og bøyefasthet ut fra resultater fra firepunkts-bøyetest. Det blir også tatt ut densitetsprøver i endene, og fuktnivået beregnes ut fra tørke-veie-metoden samt måling med fukthammer. Materialeegenskapene er dokumentert ut fra tester gjennomført etter NS-INSTA 142, NS-EN 408, NS-EN 14081 og ISO 13061-1 og 2.

Resultatene viser god men varierende kvaliteten på virket, noe som i stor grad skyldes fuktinnholdet og trevirkets ferskhet. Densitetsprøvene har varierende verdier fra 358 kg/m³ til 550 kg/m³. E-modulen har varierende verdier fra 3789 N/mm² til 30630 N/mm² for G=650 N/mm². Likevel korresponderer styrkegraden gitt med den visuelle styrkesorteringen godt med resultatene fra firepunkts-bøyetest.

Resultatene tyder på at det er kvist og fuktinnholdet som har størst innvirkning på materialets styrke, men det kan også være flere faktorer i tillegg som ikke har blitt vurdert i denne oppgaven. Visuell styrkesortering ser ut fra resultatene å være den best egnede metoden for å kunne estimere styrkeegenskapene til ombrukt trevirke på en ikke-destruktiv måte. Videre ble det diskutert at densitetsprøver er nyttig for å kunne si noe om stryken til trevirket, men det er hensiktsmessig å ta ut densitetsprøver lengre inn på virket, ikke i endene grunnet ujevn tørking av virket samt defekter som sprekker og kvist i endene.

Basert på resultatene kreves det mer forskning og testing for å samle en større mengde data før en kan utføre tester som med sikkerhet kan si noe om kvaliteten hos ombrukt trevirke.

Stikkord:

Plukkhogst
Kvalitet
Ombruk
Trevirke



Karen Johanne Breie



Silje Hoem Johansen



Kristin Nymark Rasmussen

Forord

Denne bacheloroppgaven markerer slutten på studiet som byggingeniører ved Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) på Gjøvik. Gruppen består av Karen Johanne Breie, Silje Hoem Johansen og Kristin Nymark Rasmussen, hvor sistnevnte har studert retningen konstruksjonsteknikk og de to førstnevnte bærekraftig bygging.

Oppgaven vi valgte var gitt som forslag fra NTNU i samarbeid med SirkTre. Med bakgrunn fra begge studieretningene på Gjøvik var det tenkt at oppgaven ville passe godt både med tanke på vår kunnskap og interesse. Dette da oppgaven tar for seg testing og sammenligning av materialegenskaper for plukkhogst-materiale, returmateriale fra en gammel låve samt nytt konstruksjonsvirke med ombruk som tema.

Underveis i prosessen ble det forsinkelser grunnet sen avklaring av materialtype og saging av plukkhogst-materialet, som førte til at den opprinnelige planen måtte endres. Derfor ble oppgaven vinklet mer til å omhandle materialkvalitet for de hoggede materialene, og dermed så på metoder for testing av trevirke. Da gruppen har en stor interesse for ombruk av eldre trevirke ville vi likevel se på om metodene kan brukes for å si noe om kvaliteten på eldre trevirke og metode for styrkesortering, samt samle data for materialegenskapene.

Til tross for endringer i planene opplever gruppemedlemmene at det har blitt gjort et grundig arbeid som har gitt mye læring underveis. Prosessen har vært intensiv med bratt læringskurve, men det har også vært interessant og spennende å utføre praktiske elementer i bygg-laboratoriet.

Vi ønsker dermed å rette en takk til: Tor Kristoffer Klethagen for hjelp og bistand under testing i lab. Knut Amund Skatvedt fra Treteknisk for god veiledning under visuell styrkesortering. Marthin Landgraff for hjelp med og kvalitetssikring av beregninger samt en takk til veileder Thomas Haavi for tildeling av interessant oppgave samt anskaffelse og hogst av materialer for testing.

Abstract

With an increasing focus on sustainable solutions, it will be necessary to utilize the resources we have available in an appropriate manner. To reuse timber from old buildings, it is essential to examine the quality of the wood to ensure it can be used in new constructions. Therefore, in this thesis, we will investigate which methods for testing material properties are suitable for reused timber, based on results from testing new, fresh timber. The materials forming the basis of this study are obtained through selective logging, with the intention of selecting old trees with high density.

Material properties for spruce and pine are tested through visual strength grading, and the modulus of elasticity is calculated based on results from four-point bending tests. Density samples are taken at the ends, and moisture content is determined using the oven-dry method as well as measurements with a moisture hammer. The material properties are documented based on tests conducted according to NS-INSTA 142, NS-EN 408, NS-EN 14081 and ISO 13061-1 and 2.

The results show significant variation in the quality of the wood, largely due to moisture content and the freshness of the timber. Density samples have varying values from 358 kg/m³ to 550 kg/m³. The modulus of elasticity varies from 3789 N/mm² to 30630 N/mm² for G=650 N/mm². Nevertheless, the strength grade given by visual strength grading corresponds well with the results from the four-point bending test.

We found that knots and moisture content are the two factors which have the greatest impact on the strength of the material, but there may also be other factors not considered in this study. Based on the results, visual strength grading is the most suitable method for estimating the strength properties of reused timber in a non-destructive way. It is also discussed that density samples are useful for indicating the strength of the timber, but it is advisable to take density samples further from the ends due to uneven drying and defects such as cracks and small knots.

Based on the results, more research and testing are required to gather a larger amount of data before tests can be conducted that reliably indicate the quality of reused timber.

Innholdsfortegnelse

Forord	iv
Abstract	v
Innholdsfortegnelse	vi
Tabelliste	x
Bidelleliste.....	xi
Formelliste.....	xii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Byggebransjen og bærekraft.....	1
1.1.2 Sirkulær økonomi og ombruk av treverk	2
1.1.3 SirkTre og Omtre	3
1.2 Formål	3
1.3 Problemstilling og avgrensning.....	4
1.3.1 Problemstilling	4
1.3.2 Avgrensning	4
2 Teori	6
2.1 Trevirkets historie	6
2.1.1 Trevirkes tradisjon.....	6
2.1.2 Hogst	6
2.2 Trevirkets egenskaper	9
2.2.1 Vedens struktur og oppbygning	9
2.2.2 Fukt og tørking	10
2.2.3 Densitet.....	11
2.2.4 Årringbredde	12
2.3 Påvirkning av egenskaper.....	13
2.3.1 Naturlig påvirkning	13
2.3.2 Menneskelig påvirkning	14
2.4 Norsk Standard	15
2.5 Trevirkets egenskaper og klassifisering	15
2.5.1 Styrkeklasser og styrkesortering	16

2.5.2	Trykk- og strekkfasthet	17
2.5.3	Bøyefasthet.....	18
2.5.4	Skjærfasthet.....	18
2.5.5	E-modul.....	19
2.5.6	Densitet.....	19
3	Case – Nytt plukkhogstmateriale	21
3.1	Plukkhogsten	21
3.2	Materialenes formål.....	22
3.3	Merking	23
4	Metode.....	25
4.1	Kvantitativ metode	25
4.2	Excel og beregning	25
4.3	Kvalitetssortering av trevirke	26
4.3.1	Visuell styrkesorteiring, NS-INSTA 142	27
4.3.2	Firepunkts bøyetest (NS-EN 408).....	35
4.3.3	Densitet og fuktinnhold ved tørking (ISO 13061-1 og 2, ISO 3129).....	39
4.3.4	Fuktmåling med fukthammer (MMS2 BLD8800).....	42
5	Resultater.....	44
5.1	Visuell styrkesortering	44
5.1	Firepunkts-bøyetest	50
5.1.1	Global elastitetsmodul, $E_{m,g}$	50
5.1.2	Bøyefasthet, f_m	50
5.2	Densitet og fukt	51
5.2.1	Densitet og fasthetsklasse.....	51
5.2.2	Fuktinnhold	53
6	Diskusjon og analyse.....	54
6.1	Produksjon av materiale	54
6.2	Visuell styrkesortering	55
6.3	Fukt og densitetsprøver	60
6.4	Firepunkts-bøyetest	63
6.5	Sammenheng mellom egenskapene	65
6.6	Metodevalg.....	67
7	Konklusjon	69

Ordliste	71
Litteraturliste	73
Vedleggsliste (eksterne vedlegg)	79
Vedlegg	80

Figurliste

Figur 1: De ulike lagene av en trestamme,	10
Figur 2: Illustrasjon av fuktinnholdet av trevirke i prosent av tørrvekten,	11
Figur 3: Fuktighetsinnhold og dens påvirkning av trevirkets fasthet,	16
Figur 4: Illustrasjon av strekkfasthet på tvers ($f_{t,90}$ og $f_{c,90}$) og i fiberretning ($f_{t,0}$ og $f_{c,0}$), ..	17
Figur 5: Illustrasjon av bøyefasthet (f_m),	18
Figur 6: Illustrasjon av skjærfasthet (f_v) i ulike retninger,	18
Figur 7: Densitet og dens påvirkning av trematerialets egenskaper,	20
Figur 8: Måling av årringbredde, hentet fra NS-INSTA 142	29
Figur 9: Måling av deformasjon, hentet fra NS-INSTA 142	30
Figur 10: Rissenål, hentet fra NS-EN 1310	31
Figur 11: Måling av fiberhelning, hentet fra NS-EN 1310	31
Figur 12: Måling av kvist, hentet fra NS-INSTA 142	31
Figur 13: Eksempel på kvisttyper som måles på samme måte som kvist på figur 12, hentet fra NS-INSTA 142	32
Figur 14: Måling av inngående hjørnekvist, hentet fra NS-INSTA 142	32
Figur 15: Måling av overlappende kvist, hentet fra NS-INSTA 142	32
Figur 16: Måling av gankvist med liten vinkel til marg, hentet fra NS-INSTA 142	33
Figur 17: Måling av kvistgruppe, hentet fra NS-INSTA 142	33
Figur 18: Måling av kvistareal (A_k) og kvistandel, hentet fra NS INSTA 142	34
Figur 19: Oppsett for firepunkts bøyetest, hentet fra NS-EN 408	36

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over trevirke for test	23
Tabell 2: Oversikt over styrkeklasse, korresponderende styrkegrad og tresort, hentet fra NS-INSTA 142	28
Tabell 3: Styrkegradens densitet, hentet fra NS-INSTA 142.....	28
Tabell 4: Oversikt over resultat fra visuell styrkesortering.....	44
Tabell 5: Resultater - Global elastitetsmodul ($E_{m,g}$).....	50
Tabell 6: Resultater – Bøyefasthet (f_m)	51
Tabell 7: Beregnet densitet for ende og gjennomsnitt ved spesifisert fuktinnhold	51
Tabell 8: Beregnet densitet av ende og gjennomsnitt ved absolutt tørr tilstand og korresponderende fasthetsklasse	52
Tabell 9: Beregnet endring av densitet og prosentvis endring	52
Tabell 10: Fuktinnhold funnet ved tørking og ved bruk av fukthammer	53

Bildeliste

Bilde 1: Tømmer før saging, foto: Silje Hoem Johansen.....	22
Bilde 2: Parti av trevirke etter saging, foto: Thomas Haavi.....	22
Bilde 3: Råte og brentved av 3A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	45
Bilde 4: Soppdannelse av enden 5B, foto: Silje Hoem Johansen.....	45
Bilde 5: Tennar i enden 5A, foto: Silje Hoem Johansen.....	45
Bilde 6: Bark og vankant av 9C-D, foto: Silje Hoem Johansen.....	46
Bilde 7: Gankvist, hornkvist og foreslått plassering av kapp av 10A-B.4, foto: Silje Hoem Johansen	47
Bilde 8: Kvistdimensjon over 1/5 av trevirkets bredde av 10A-B.3, foto: Silje Hoem Johansen	47
Bilde 9: Gankvist av 10A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	48
Bilde 10: Gankvist flatside av 10A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	48
Bilde 11: Gankvist av 10A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	48
Bilde 12: Gankvist av 10A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	48
Bilde 13: Råte (overflate) av X-Y,	49
Bilde 14: Kvist med dimensjon over 1/5 av trevirkets bredde av X-Y, foto: Silje Hoem Johansen	49
Bilde 15: Råte og brentved av 3A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	57
Bilde 16: Hornkvist og gankvist av 10A-B. 2, foto: Silje Hoem Johansen.....	58
Bilde 17: Hornkvist av 10A-B, foto: Silje Hoem Johansen.....	58
Bilde 18: Tennar for prøveuttaking av ende 5A.2, foto: Silje Hoem Johansen.....	59
Bilde 19: Tydeligere tennar etter kapp for prøveuttak av 5A.2, foto: Silje Hoem Johansen....	59
Bilde 20: Eksempler på sprekker fra prøver, foto: Kristin Nymark Rasmussen.....	60
Bilde 21: Prøve med kvaelomme, foto: Kristin Nymark Rasmussen.....	61
Bilde 22: Prøve med små kvist, foto: Kristin Nymark Rasmussen.....	61
Bilde 23: Sprekker i og rundt kvist etter nedbøyning av 10A-B.3 mellom opplager og presse, foto: Silje Hoem Johansen.....	64
Bilde 24: Sprekker i og rundt kvist etter nedbøyning av 10A-B.3 midten av trevirke, foto: Silje Hoem Johansen.....	64

Formelliste

Formel 1: Densitet, hentet fra boka "Dimensjonering av trekonstruksjoner" av Kolbein Bell	19
Formel 2: Global E-modul ($E_{m,g}$), hentet fra NS-EN 408	37
Formel 3: Elastitetsmodul (E_0), hentet fra NS-EN 408	38
Formel 4: Bøyefasthet (f_m), hentet fra NS-EN 408	38
Formel 5: Densitet ved spesifisert fuktinnhold (ρ_w), hentet fra NS-EN 13061-2	41
Formel 6: Densitet ved absolutt tørr tilstand (ρ_0), hentet fra NS-EN 13061-2.....	42
Formel 7: Fuktnivå i prosent ($W, \%$), hentet fra NS-EN 13061-1	42

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

1.1.1 Byggebransjen og bærekraft

Verden står ovenfor menneskeskapte klimaendringer og miljøutfordringer lokalt og globalt. Menneskets enorme forbruk skaper blant annet økt konsentrasjon av CO₂ i atmosfæren og dermed global oppvarming, uttømming av jordas ressurser og areal, forurensning av luft, sjø, vann og jord for å nevne noe.

I 2018 kom FNs klimapanel (IPCC) frem med en rapport som sier at grensen til akseptabel temperaturøkning er på 1.5 grader. Per nå er det allerede en økning på 1.1 grader fra førindustriell tid og fortsetter å øke (FN-sambandet, 2024) (Olerud, et al., 2024).

Man kan ikke kun tenke på klima og miljø uten også å tenke på livskvalitet og menneskets behov. Brundtlandkommisjonen beskrev bærekraft som følgende; *«En bærekraftig utvikling er en utvikling som imøtekommer dagen behov uten å ødelegge mulighetene for kommende generasjoner skal få tilfredsstillende sine behov»* (Regjeringen, u.d.).

Det finnes ulike arbeidsplaner og avtaler som jobber mot bærekraftig utvikling. De mest kjente er FNs bærekraftsmål og Parisavtalen; hvor den førstnevnte er en felles arbeidsplan for alle land i verden, som jobber for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030. Den sistnevnte er avtalen hvor alle FNs medlemsland er forpliktet til å begrense jordas temperaturstigning med maksimalt 2°C, men aller helst 1.5°C (FN-sambandet, u.d.) (Jakobsen, 2024). EU og Norge har også sine strategier og klimamål, som EUs European Green Deal og Norges lovpålagte utslippskutt på minst 55 prosent (Halleraker, 2023) (Svanemerket, 2024).

Det er ingen hemmelighet at byggebransjen medfører en stor belastning på klima og miljø. Alle sektorer har ansvar for å gjøre sitt for å bidra til et bærekraftig samfunn. Bygg og eiendom er også kjent som 40%-næringen, dette fordi 40% av energien i samfunnet og 40%

av materialressursene blir brukt til bygg. Globalt bruker også bygg 40% av all energi. 50% av all utslipp knyttet til byggets livsløp er knyttet til produksjon og transport (Byggalliansen, u.d.).

En stor andel av utbyggere er positive til å bygge bærekraftig, men i realiteten er det kun 5 prosent av byggeprosjektene som er bærekraftige (nti-gruppen, u.d.). Mange tenker på nybygg med energieffektivisering som den bærekraftige løsningen, men dette vil ikke være den løsningen med størst reduksjon for det totale utslippet. Ifølge Sintef er rehabilitering og det å bruke materialene som allerede eksisterer i bygget en bedre løsning. Der det ikke er mulig å restaurere og rehabilitere bygg, er en god løsning å bruke materialer fra andre prosjekter for gjenbruk av materialer i nybygg (Sintef, u.d.) (Rambekk, 2020).

I tillegg er det viktig å se på bærekraft i det store bildet, altså livsløpet (LCA) materialene og bygget i sin helhet. Designe og planlegge for bærekraft i konsept og planleggingsfasen, ha en bærekraftig byggeprosess i utføringsfasen, bærekraftig drift og vedlikehold, og til slutt bærekraftig håndtering av byggets livsende (Sintef, u.d.) (Byggeindustrien, 2015).

1.1.2 Sirkulær økonomi og ombruk av treverk

Av alt avfall ved rivning og nybygg utgjør trevirke som oftest 30-40%. Nasjonalt blir 90% av returvirke brent for energiutnyttelse, som er en ikke-fornybar metode å produsere energi (NIBO, 2019), (Sørnes, et al., 2014).

Sirkulær økonomi er antatt som ett av løsningene for å gjøre byggebransjen bærekraftig. Potensialet er stort på grunn av byggebransjens enorme forbruk av materiale, avfallsproduksjon og bruk av energi (Medeiros, 2021). Istedenfor en rettlinjet produksjon (lineær økonomi) hvor råvarer og ressursene blir tatt ut fra jorden og ender som avfall etter bruk, blir heller gjort om til en sirkulær produksjon der produkter blir først gjenbrukt, reparert og deretter resirkulert. Dette minimerer ressursuttaket av jorden og maksimere ressursens brukspotensiale (Nilsen, 2023). Sirkulær økonomi vil redusere behovet for nytt materiale i byggebransjen og kan potensielt gi betydelig avfallsforebygging. Der det er behov for nytt materiale og konstruksjoner vil det være hensiktsmessig å velge lettere og robuste konstruksjoner og materialer med lavere utslipp (Sintef, 2020).

Ifølge en studie gjort av NMBU kan man halvere utslippene ved å øke ombruksandelen av trevirke fra 20% til 80%. Rapporten forteller likevel at sannsynligheten for å kunne oppnå en gjenbruk på 80% av returvirke er lav, slik som det er i dag. Dett fordi det ikke er systematisk tilrettelagt eller økonomisk gunstig med gjenbruk av trevirke. Det nevnes også at avfallsforbygging og ombruk av materialer i eksisterende bygg vil i tillegg redusere transportbehovet fremfor rivning og transportering til nye bygg (Hanssen, et al., 2024).

«Avfallsforebygging er det mest ønskelige alternativet, fulgt av ombruk, materialgjenvinning, energigjenvinning og til slutt deponi» (Sørnes, et al., 2014).

1.1.3 SirkTre og Omtre

Ombruk av konstruksjoner og byggevarer vil være avgjørende for å få bygg og anleggsbransjen inn i det grønne skiftet. SirkTre er et prosjekt som startet opp i 2022, med Norwegian Wood Cluster som initiativtaker. De jobber for å gjøre treindustrien og byggenæringen helsirkulær og inn i det grønne skiftet. Sammen med sine partnere er formålet er å sørge for at trevirke ombrukes direkte eller som en del av et resirkulert produkt (Forskningsrådet, u.d.).

Målet til SirkTre er å utnytte 250 000 m³ (100 000 tonn) treavfall innen 2024, og 1 million m³ (0.5 millioner tonn) innen 2030. Dette vil bidra til klimakutt på 0.5 millioner tonn CO₂ innen 2024, og 3 millioner tonn CO₂ innen 2030. I tillegg bidrar SirkTre til å nå målene for EUs taksonomi. Dersom SirkTre oppnår sine mål vil det kutte 8% av Norges klimaforpliktelser (Forskningsrådet, u.d.), (SirkTRE, u.d.).

Omtre administrerer forsknings- og utviklingsprosjektet SirkTre, hvor de leder delprosjekter innen kartlegging av stående bygg og behandlingen av returtre. I tillegg har Omtre egne forsknings- og utviklingsprosjekter innen byggesystemer, digitalisering, regulering og markedsutvikling for bedre sirkulær utnyttelse (Omtre, u.d.)

1.2 Formål

Denne oppgavens overordnede mål er å bidra til sirkulær økonomi i norsk byggebransje ved å øke brukspotensiale for eldre trevirke som ombruksvirke. En mer bærekraftig byggebransje

kan oppnås gjennom tiltak som legger vekt på å minimere avfall, spare på de ressursene som er tilgjengelige samt reparere og bruke om igjen der det er mulig. Det spesifikke målet med oppgaven er å bidra til å utvikle en metode for effektiv og riktig kvalitetssortering av eldre trevirke. Dette gjøres ved testing og undersøkelse av trevirke høstet med plukkhogst for å belyse styrkenedsettende faktorer samt undersøke kvaliteten.

1.3 Problemstilling og avgrensning

1.3.1 Problemstilling

Basert på oppgavens formål og tema er problemstillingen formulert slik:

«Kan man ved testing av materiale høstet med gamle hogstmetoder si noe om hvilke faktorer som styrer kvaliteten på konstruksjonsvirke, og kan dette bidra til å gjøre styrkegradering av eldre konstruksjonsvirke mer effektivt?»

1.3.2 Avgrensning

Oppgaven avgrenses ved å se på trevirkets egenskaper og materialkvalitet, hvor dens opprinnelige kvalitet settes i fokus samt treets formål og potensiale som konstruksjonsvirke. Selv om trevirket potensielt kan ha flere eller andre bruksområder enn konstruksjonsvirke blir det ikke vurdert eller undersøkt, og er dermed ikke en del oppgavens omfang. Materialene vurderes heller ikke opp mot spesifikke krav og standardisering av konstruksjonsvirke for salg i byggevarehandel, men som konstruksjonsvirke av plukkhogst brukt direkte.

Styrkenedsettende faktorer belyses gjennom notater og dokumentasjon løpende i form av bilder og følger dermed ikke eventuelle standardiserte metoder for det. Det skilles også mellom naturlige og menneskeskapte, for å kunne svare grundig på problemstillingen.

Etter krav fra veileder skulle trevirkenes opprinnelige dimensjon og lengde i størst mulig grad bevares, og testingen skulle ikke påvirke trevirket negativt. Bakgrunnen for dette ønsket er at trevirket skal bli brukt som konstruksjonsvirke i et planlagt bygg. Dermed testes ikke trevirket til brudd og den faktiske styrken vil heller ikke avdekkes, men vil bli en estimering. Ved

prøveuttaking for fukt- og densitet test ble prøvene tatt fra endene og lengden mest mulig bevart.

Grunnet oppgavens omfang og tidsramme er det lagt vekt på 13 emner av partiet med plukkhogst, med hensikt å gjøre en grundig kvalitetssortering av de valgte emnene, med fokus på kvalitet over kvantitet.

2 Teori

2.1 Trevirkets historie

2.1.1 Trevirkes tradisjon

Tre er et byggemateriale som gjennom historien har spilt en sentral rolle i Norsk bygningsmasse mye grunnet tilgjengeligheten på skog i landet. Tre er også et allsidig materiale med både gode mekaniske og arkitektoniske egenskaper (Øvrum & Skaug, u.d.). Den dag i dag står fortsatt trekonstruksjoner fra 1300-tallet, og det er dermed rimelig å anta at hogstmetoden og byggeteknikken de anvendte på denne tiden baserte seg på å bruke trær av god kvalitet samt det å utnytte egenskapene i treet på best mulig måte. Et eksempel på en slik konstruksjon er Staveloftet fra Stave i Ål, som ble oppført ca. i 1340, og er laftet over to etasjer av tømmer i store dimensjoner. Loftet er et av Norges best bevarte middelalderkonstruksjoner av tre og forteller mye om gamle byggeteknikker og materialkvalitet (Hallingdal Museum, u.d.).

I boken «*Tre til laft og reis: gamle hus fortel om materialbruk*» (Godal, 1996) av Jon Bojer Godal blir det nevnt at det i dag er mangel på data om forskjellene mellom moderne treteknisk forskning og de eldre metodene, selv om begge bunner i innsikt i treteknologi og treet anatomie. Dette gjelder for eksempel styrkerelasjonene mellom dimensjonshogst hvor trærne ble plukket ut til den gitte dimensjonen de skulle brukes til og frem til i dag hvor det benyttes dimensjonsskur og treet skjæres inn i ønskede dimensjoner (Godal, 1996).

2.1.2 Hogst

Hogstmetodene har utviklet seg i takt med den teknologiske utviklingen; fra dimensjonshogstperioden mellom 1500-1870, hvor en kun hogde trær over en gitt dimensjon til flatehogst som ble tatt i bruk rundt 1950, som er den metoden som fremdeles benyttes i norsk skog i dag (Hanssen, u.d.). Det finnes flere metoder for hogst, og det er mest vanlig å skille mellom åpen og lukket hogst. Eksempel ved åpen hogst kan være flatehogst hvor alle

trærne hogges på et areal med størrelse over 2000 m² (Larsen, 2022). Lukket hogst er en metode som benyttes i et bledningsskogbruk, og kan eksempelvis være bledningshogst og selektiv hogst. Med denne hogstmetoden plukkes trærne ut og hogges basert på forhåndsbestemte kriterier. Lukket hogst vil dermed bidra til å bevare og utvikle en mangfoldig skogsstruktur samt sikre materiale av høy kvalitet (Bækkelund, 2024).

Flere faktorer er med på å bestemme hvilken hogstform som er best egnet for hver enkelt skog, blant annet hvilket treslag en ønsker å hogge, muligheter for foryngelse av skog samt hvor godt trærne står imot vind og andre klimatiske faktorer som behovet for sollys og vann (Anker-Rasch, u.d.).

Flere faktorer er med på å bestemme hvilken hogstform som er best egnet for hver enkelt skog, blant annet hvilket treslag en ønsker å hogge, muligheter for foryngelse av skog samt hvor godt trærne står imot vind og andre klimatiske faktorer som behovet for sollys og vann (Anker-Rasch, u.d.).

Plukkhogstperioden

På starten av 1900-tallet ble det presset frem en overgang fra dimensjonshogst til plukkhogst. Bakgrunnen for dette var at rundt århundreskiftet var flere skoger preget av dårlig gjenvekst, lavt stående volum og minimal tilvekst av ny skog. Ved å benytte plukkhogst som hogstmetode ble det plukket ut store, saktevoksende trær samt enkelte skadde trær av små dimensjoner basert på hvilket formål virket skulle brukes til. Hovedpoenget var å unngå å hogge store flater, da snauhogst ble sett på som uansvarlig hogst som resulterte i uutnyttede områder i tillegg til at etablering av ny skog tok lang tid. I flere områder var det forbudt frem til 1930 å hogge flater større enn 1000 m² uten særskilt tillatelse (Nygaard & Øyen, 2020).

Plukkhogsten ble på 1930-tallet omtalt som en *rasjonell hogstform*, da målet med denne metoden var å etterligne bledning – en skogforvaltningsmetode som fokuserer på å danne et flersjiktet og fleraldret skogmiljø ved å la trær av varierende alder og dimensjon vokse i samme område (Bækkelund, 2024). Likevel ble flere av de eldste, groveste og kvistfrie trærne plukket ut og hogd grunnet kortsiktig økonomisk vinning – noe som førte til glisne barblandingsskoger (Nygaard & Øyen, 2020).

Flatehogst

90 % av hogsten i Norge i dag er flatehogst. Målet med flatehogst er å på sikt få skoger som er større, sunnere og inneholder et artsmangfold, samtidig som den tar opp mer karbon grunnet økt tilvekst (Fjeld, 2021). Flatehogst er en metode for hogst som benyttes i et såkalt bestandsskogbruk, der man ser på hele skogbestanden i et gitt område som en enhet for forvaltning og behandling (Dalen, 2024). I bestandsskogbruket er ofte flere trær i samme skog plantet på samme tid, slik at de også kan hogges på samme tid. Store flater hogges av gangen da trærne ofte blir skadet av vind når kun en liten andel av trærne hogges, og hogstflatene blir mer åpne og vindutsatte. Sammenlignet med andelen trær i skogene for 100 år siden, har vi i dag omtrent tre ganger så mye trær. Dette kommer trolig av at med et bestandsskogbruk får trærne gode vekstforhold, da de vokser jevnt gjennom hele livsløpet, og hogges når de er klare. Ved at alle trærne i et område vokser likt vil også kvaliteten på trevirket fra den samme hogstflaten være nokså lik. Av den grunn egner metoden seg best i *monokulturskoger* – skoger bestående av kun et treslag. På den andre siden vil skoger hogget med flatehogst være mer utsatt for skader som følge av insektangrep eller alvorlige klimahendelser, slik som tørke eller sterk vind (Aarø, 2021).

Plukkhogst i dag er ikke en vanlig hogstform i Norge. Dette kommer blant annet av at plukkhogst er en svært kostbar metode for hogst enn for eksempel flatehogst. Dette fordi skogsmaskinene må bevege seg på en mer forsiktig måte for å unngå skade på de trærne som ikke skal felles i den omgangen. Hogsten vil dermed ta lengre tid og bruke mer ressurser og på den måten gjør det kostbart. Eventuelle skader på trærne er viktig å unngå da det kan redusere kvaliteten på trevirket dersom det danner seg soppvekst i form av for eksempel råte. Likevel er plukkhogst en hogstmetode som kan være et godt alternativ til flatehogst dersom skogsarealene tillater det. Dette fordi hogstformen gir større stokker og mer sagtømmer, og dersom kriteriene for plukk er gode nok, vil kvaliteten på det trevirket som produseres også være bedre. Dette er forutsatt at skogen består av trær med ulik størrelse og alder og tåler økt belastning fra vind (Dalsgaard, et al., 2015).

I skog hvor det er benyttet plukkhogst, vokser vanligvis unge trær sakte, da de konkurrerer med større voksne trær som tar opp mye av lyset og næringen i skogbunnen. I slike områder blir det heller ikke plantet nye trær, da hensikten med plukkhogst er å sikre naturlig spredning av frø fra de trærne som blir stående igjen. Når en ikke planter nye trær vil det ta lengre tid før nye trær vokser opp, og klimagevinsten med økt skogandel går tapt. Dette resulterer i at

skogen produserer og i tillegg binder mindre CO₂. Likevel vil en plukkhogd skog være mer motstandsdyktig mot klimaendringer – særlig i form av kraftig vind, da større avstand mellom trærne fører til et bredere rotsystem (Dalsgaard, et al., 2015).

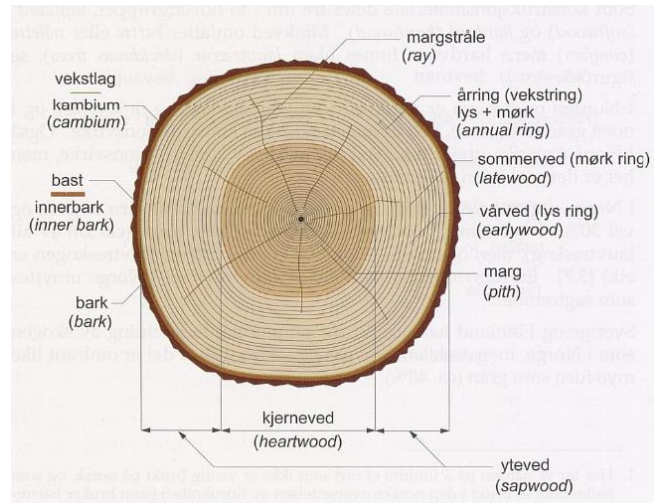
2.2 Trevirkets egenskaper

2.2.1 Vedens struktur og oppbygning

Trevirket er bygget opp av hulte celler hvor de fleste er orientert vertikalt. Disse cellene stiver av stammen og fungerer som transportkanaler for vann fra roten til toppen av treet.

Celleveggene består i hovedsak av lignin, som fungerer som et «lim» mellom cellene innad i veden. Videre inn i cellen finner man sjikt bestående av en primærvegg og tre sekundærvegger. Disse sjiktene består av mikrofibriller som er kjeder av cellulose plassert i ulike vinkler. Det er vinklene på mikrofibrillene i forhold til fiberretningen som avgjør hvor mye veden vil krympe i lengderetning ved tørking, da vannet i veden bindes mellom mikrofibrillene (Skaug, 2007).

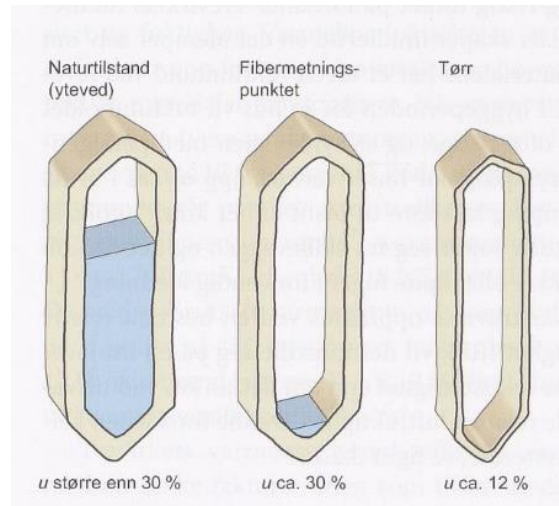
Nærmest margen finner man ungdomsveden, hvor vinkelen på mikrofibrillene er større enn normalveden som etablerer seg fra årring 15-20. Normalveden består av kjerneved og yteved. Den største forskjellen på disse vedtypene er at kjerneveden består av døde celler og vil derfor være lite permeabel. Kjerneveden er ikke en del av treet's transportsystem for vann og næring, men har som funksjon å holde treet stående. Utenfor kjerneveden etableres yteveden, som i motsetning til kjerneveden er forholdsvis åpen og permeabel, og strekker seg helt ut til kambiet, basten og barken som er de tre ytterste lagene til trestammen (Skaug, 2007).



Figur 1: De ulike lagene av en trestamme, hentet fra «Dimensjonering av trekonstruksjoner» av Kolbein Bell

2.2.2 Fukt og tørking

Det er vann i alt trevirke, og opptak samt avhending av dette vannet er blant annet avhengig av omgivelsene, og dens temperatur og relative fuktighet. I veden opptrer vannet enten som fritt eller bundet, altså befinner vannet seg enten i hulrommet mellom vedcellene eller bundet i celleveggen. Innholdet av vann oppgis som prosent av tørrvekten, og kan avdekkes enten ved veie og tørke treprøver eller ved bruk av elektrisk fukthammer (eller lignende verktøy). Når alt vann er tatt opp i celleveggen er treet ved fibermetningspunktet, og inneholder den maksimale andelen bundet vann, som vist i *Figur 2*. Dette avhenger blant annet av vedstruktur, harpiks, garvestoff og fargestoff i celleveggene. Fibermetningspunktet regnes å være rundt 28 % som et gjennomsnitt for alle treslag, og styrken til trevirket minker når vanninnholdet øker opp til fibermetningspunktet. Når trevirket tørker under fibermetningspunktet vil trevirket krympe da vannet mellom cellestrukturen i veden blir borte, og celleveggen blir tettere. Som et resultat av en tettere cellevegg vil også styrken øke (Moen, et al., 1998).



Figur 2: Illustrasjon av fuktinnholdet av trevirke i prosent av tørrvekten, hentet fra «Håndbok 5 Trehus» av SINTEF Byggforsk

Når trevirke befinner seg i et miljø med relativ luftfuktighet under 100% vil trevirket begynne å tørke. Vannet fordampes først fra overflatene og endene. For å unngå sprekker er det derfor viktig å beskytte endeflatene, da de tørker raskere enn resten av virket. Tørkehastigheten avhenger først og fremst av tre faktorer; temperatur, relativ luftfuktighet og lufthastighet. Disse faktorene er klimatiske, og kan ikke kontrolleres på en naturlig måte i naturen eller andre steder uten kontrollerte ventilasjonssystemer. Trevirke med bark tørker saktere enn trevirke uten bark, og sprekken som oppstår vil være mindre. Dersom trevirke tørker raskt kan det bli store sprekker, særlig i enden av stokkene og i eller gjennom marginen. Derfor kan kunstig tørking ved kontrollerte omgivelser være hensiktsmessig for å oppnå full kontroll på tørkefaktorene (Moen, et al., 1998).

Hos trevirke av bartre med høyt innhold av tennarved og eller ungdomsved vil krympingen under tørkeprosessen gå raskere enn ved andre deler av virket uten tennar eller ungdomsved. Dette kommer av at fibrillvinkelen i den sekundære celleveggen er større enn i normalved, og kan derfor føre til deformasjoner i virket dersom trevirket inneholder tennar-, ungdoms- og normalved (Moen, et al., 1998).

2.2.3 Densitet

Trevirkets densitet defineres som massen av veden per volum, og kan si noe om trevirkets styrkeegenskaper. Dette skyldes at trevirkets bøyefasthet øker med økende densitet. Densiteten varierer mellom de ulike treslagene, men også innad i samme treslag. I tillegg

varierer densiteten ved de ulike stammedelene for et enkelt tre og i lengderetningen. Densitet er aksepterte ut fra følgende regler; densiteten minker fra rota opp mot toppen av treet, densiteten øker fra marginen mot barken, og densiteten avhenger av treet's alder, innholdet av sommerved, samt proveniens og vekstvilkår (Moen, et al., 1998).

Det er en klar sammenheng mellom densiteten hos bartre og jordsmonnet i skogen, hvor høy bonitet gir virke med lav densitet, mens lavere bonitet gir virke med høy densitet. I områder med svært dårlige jordforhold som for eksempel på fjellet vil densiteten være mindre selv om årringsbredden minker (Moen, et al., 1998).

Videre er andelen sommerved i forhold til vårved en viktig faktor som styrer trevirkets densitet. Sommerveden har tykkere cellevegger enn vårveden grunnet tilgangen på lys og næring i sommermånedene. Et tre med større andel sommerved enn vårved vil dermed ha høyere densitet. Hvor mye sommerved og vårved som danner seg i et tre avhenger av treet's vekstområde og hastigheten den vokser (Skaug, 2007).

2.2.4 Årringbredde

Hos bartrær vil årringene bli brede under gode vekstforhold, altså når trær vokser raskt med stor avstand mellom seg vil det få bredere årringer. Disse årringene inneholder vårved med tynne cellevegger, og gjør materialet mer porøst. Videre vil densiteten og dermed også styrken øke med treet's alder til en viss alder før det flater ut igjen, samtidig som densiteten minker med økende årringbredde. Dermed vil et optimalt tre med hensyn til densiteten være et eldre tre med tette årringer (Moen, et al., 1998).

2.3 Påvirkning av egenskaper

2.3.1 Naturlig påvirkning

Vekstvilkår

Hos bartrær vil hovedformen skille seg lite fra tre til tre, men avsmalning mot toppen og andel kvist vil variere. Fra ca. en meter over bakken er treet på det mest jevntykke. Det er fra denne delen av treet de fineste stokkene med lite kvist kommer fra. Høyere opp i treet vil stammen smalne, og mer kvist vil vokse. Kvist reduserer trevirkets styrkeegenskaper, men i hvilken grad avhenger av kvistens størrelse, type og plassering (Godal, 1996).

I skog kan man se arvelig variasjon, da ingen trær i en skog ser helt like ut – til tross for deres tilsynelatende like vekstvilkår. Enkelte trær har tendenser til lange, grove kvister, mens andre har kortere og grannere kvister. Fra gammelt av var spesielt båtbyggerne opptatte av vinkelen på grenene da dette gir virke som egner seg til bord. For virke som skal benyttes til konstruksjon – stolper, sperrer og bjelker – har ikke vinkelen så mye å si, men det er heller dimensjonen av kvisten som er avgjørende. Dette kommer av at kvisten skaper forstyrrelser i fiberretningen, og større kvist vil dermed svekke styrken til konstruksjonsvirket (Godal, 1996).

Miljø

Trær reagerer på miljøet de vokser i. Kvaliteten på jorden i en skog og de næringsstoffene som finnes i den vil ha en påvirkning på hvor fort trærne vokser, og dermed også på hvorvidt vedkvaliteten blir seig eller sprø. Det er likevel flere andre faktorer som påvirker veksthastigheten, som er vanskelige å få oversikt over. Den mest synlige miljøfaktoren er derimot lys. Trær som står fritt vil vokse raskere i bredden, mens de trærne som står tettere og mer skjermet vil vokse raskere i høyden. Måten treet vokser på vil påvirke både kvistenes plassering og størrelse, årringbredden, samt avsmalningen i høyderetningen av treet. Et tre som vokser raskt i høyden vil ha mye og grov kvist på innsiden, selv om det ikke er synlig fra utsiden (Godal, 1996).

Furu er spesielt lyskrevende, og trives derfor ikke spesielt godt sammen med annen skog. I granskog vil ikke furuen komme seg opp til lyset, og i bjørkeskog vil furuen kunne vokse

sakte om skogen ikke er altfor tett. I slike tilfeller vil furuen ofte få krok, gankvist eller sultre, som igjen vil påvirke treets styrkeegenskaper (Godal, 1996).

Grantrær vokser raskere i bredden og oppnår dermed raskere ut til maksimalbredde enn furu. Dette fører til at granen kan trives i områder med dårligere lysforhold, og etablerer seg under både furu og bjørk (Godal, 1996).

Tennarved er tettvekst ved i bartre, og dannes når treet utsettes for store trykkpåkjenninger i form av for eksempel skjevstilling. Denne skjevstillingen kan komme som et resultat av at treet har vokst i skrått terreng, i vindutsatte områder eller områder med mye sol på en side. Videre kan tennarved også dannes på undersiden av større grener da dette også vil medføre en unormal trykkpåkjenning i dette området (Larsen, 2023).

I boken «*Trevirke*» sammenlignes trær med samme årringbredde, men opprinner fra ulike områder i Norge, og det konkluderes med at trevirkets styrkeegenskaper minker jo lengre nord treet har vokst (Moen, et al., 1998). Dette kommer av at mindre gunstig klima for vekst vil redusere andelen sommerved, da veksten avtar og stopper opp tidligere på høsten.

2.3.2 Menneskelig påvirkning

I tillegg til naturlig påvirkning av trærnes vekstvilkår har mennesket også hatt påvirkning på hvordan skogen etablerer seg. Mange steder hvor furuskogen har dominert tidligere, gror til med løvtrær etter hvert som andelen beitedyr minker. Beitedyrene sørger for å holde løv og annen vegetasjon som kan konkurrere med furuen nede. I tillegg sparker de opp grunnen slik at frøene fra furuen kan plantes. Det er tydelig at furutrær fra middelalderen har fått vokse i gode vekstvilkår, da årringbredden til tømmer fra denne tidsperioden er jevne med en bredde på 1-2 mm. Denne årringbredden er optimal for furu, da det er her den har størst styrke (Godal, 1996).

På 1950-tallet var det ikke uvanlig at gran ble plantet med en avstand på 1.25 meter mellom hvert tre. I dag er denne avstanden doblet, selv om det er vist at større planteavstand har negativ påvirkning på treets årringbredde, densitet og kviststørrelse, hvor sistnevnte er den faktoren som blir mest påvirket av planteavstand. Dette kommer av at større avstand mellom trærne fører til at kvistene vokser bredere, og blir dermed større og sterkere. Kvistene vil også oppstå lengre ned på trestammen (Moen, et al., 1998).

2.4 Norsk Standard

En standard er et dokument med en «oppskrift» for en produksjon eller gjennomførelse, og det finnes standarder for det aller meste i samfunnet. Standarder kan gjelde på nasjonalt, europeisk eller internasjonalt nivå. Norge er medlem av både den Europeiske Standardiseringsorganisasjon (CEN) og den Internasjonale Standardiseringsorganisasjonen (ISO). Standard Norge er forpliktet til å sette CEN-standardene som en del av de norske, men setter kun ISO-standardene som en del av de norske etter behovsvurdering, da det ikke er forpliktet. NS-merket er varemerkebeskyttet og vil fortelle om et produkt er produsert i samsvar med Norsk Standard (Standard Norge, u.d.).

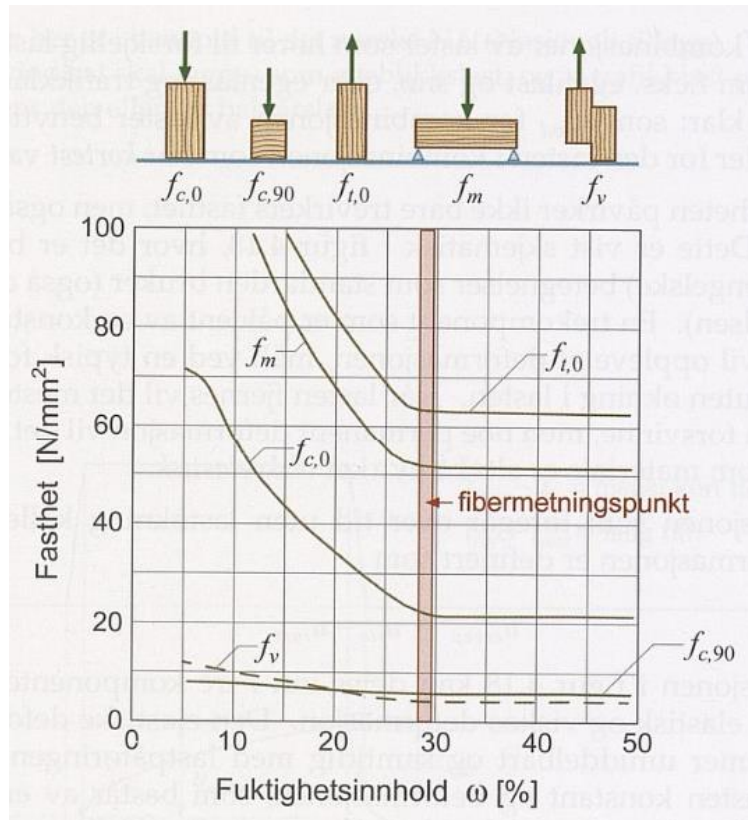
Standardene blir laget gjennom standardiseringsprosjekter av frivillige interessepartnere og berørte partnere, og vedtas av anerkjente organ. Ofte starter et standardiseringsprosjekt ved et nytt behov i markedet eller ved nødvendighet for revidering av en standard. Utarbeidelsen av nasjonale standarder skjer av Standard Norge-komite, og de følger også standardiseringsarbeidet som foregår internasjonalt (Standard Norge, u.d.).

Det er et utvalg av standarder hentet fra Standard Norge som blir benyttet i denne oppgaven som metode for testing og for gjennomførelse og uthenting av resultater. Hvilke standarder det gjelder og prosedyrene blir beskrevet i kapittel 4 *Metode*.

2.5 Trevirkets egenskaper og klassifisering

Styrkeegenskapene til trevirket vil i stor grad variere etter som det er i fiberretning eller på tvers av dem, grunnet trevirkets fiberstruktur. For konstruksjonstrevirke vil de aktuelle fasthetene gjelde strekk-, trykk-, bøye- og skjærfasthet (Bell, 2017).

Som vist i grafen under vil fasthetene være størst ved lavt fuktighetsinnhold, og synke frem til virket når fibermetningspunktet. Likevel vil ikke alle egenskaper påvirkes likt, eksempelvis vil trykkfastheten i større grad reduseres enn strekkfastheten ved økende fuktinnhold. Også elastitetsmodulen vil bli noe svekket med høyere fuktighetsinnhold, men ikke i like stor grad som for fasthetene (Bell, 2017).



Figur 3: Fuktighetsinnhold og dens påvirkning av trevirkets fasthet, hentet fra "Dimensjonering av trekonstruksjoner" av Kolbein Bell

2.5.1 Styrkeklasser og styrkesortering

Fasthetene innad i en populasjon av trevirke fra samme treslag vil i stor grad kunne variere, selv ved samme fuktighetsinnhold, noe som kan gjøre det vanskelig å kontrollere egenskapene. Selv om deler av populasjon vil ha en høyere fasthet vil ikke dette kunne utnyttes, ettersom at «*bruken av konstruksjonstrevirke er basert på den karakteristiske fasthet, definert som den laveste 5% fraktil av populasjonen*» (Bell, 2017, p. 63).

Partiet kan likevel klassifiseres til ulike styrkeklasser, som skal gjøres med hensyn til europeiske eller internasjonale regler. I den europeiske standarden EN 338 defineres 12 styrkeklasser mellom C14 og C50, for mjukved. C kommer fra ordet *Conifer* og brukes for bartrær (som gran og furu), mens tallet står for trevirkets karakteristiske bøyefasthet i N/mm². For limtrettvernsnitt vil det være strekkfastheten som vil være avgjørende og bestemmer valg av klasse. Derfor klassifiseres limtre i en annen styrkeklasse, med bokstaven T sammen med virkets karakteristiske strekkfasthet (Bell, 2017).

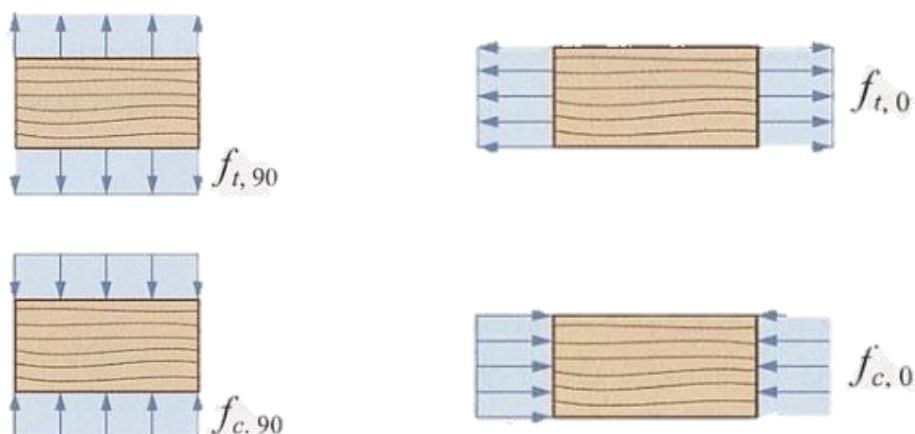
Standarden gir karakteristiske verdier for de forskjellige styrkeklassene, når det gjelder de ulike verdiene innen densitet, stivhet- og fasthetsegenskaper. Ikke alle disse verdiene må testes, men det er krav at virket tilfredsstillende kravet for klassen når det gjelder karakteristiske bøyefasthet, karakteristisk densitet og den karakteristiske verdien til den midlere E-modul, når virket har relativ fuktighet på 65% ved 20°C. De resterende verdiene for egenskaper kan fra dem regnes ut med empirisk bestemte formler (Bell, 2017).

Eneste måte med sikkerhet finne virkelig fasthet, er destruktive metoder, hvor virket testes til brudd, men dette vil hindre at virket kan brukes videre. Derfor er det vanligere å bruke de indirekte metodene, som deles inn i visuell sortering og maskinell sortering (Bell, 2017).

Eneste måte med sikkerhet finne virkelig fasthet, er destruktive metoder, hvor virket testes til brudd, men dette vil hindre at virket kan brukes videre. Derfor er det vanligere å bruke de indirekte metodene, som deles inn i visuell sortering og maskinell sortering (Bell, 2017).

2.5.2 Trykk- og strekkfasthet

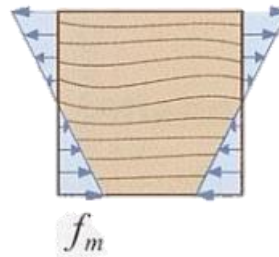
Som overnevnt vil både strekk- og trykkfastheten variere om virket er i trets fiberretning eller på tvers av fiberretningen. Ved belastning normalt på fiberretningen på en tre bjelke vil øvre del av tverrsnittet påvirkes av trykk mens den nedre delen har strekk. Det er strekkfastheten på tvers av fiberretning som er den svakeste fastheten til treverket (Bell, 2017).



Figur 4: Illustrasjon av strekkfasthet på tvers ($f_{t,90}$ og $f_{c,90}$) og i fiberretning ($f_{t,0}$ og $f_{c,0}$), hentet fra "Dimensjonering av trekonstruksjoner" av Kolbein Bell

2.5.3 Bøyefasthet

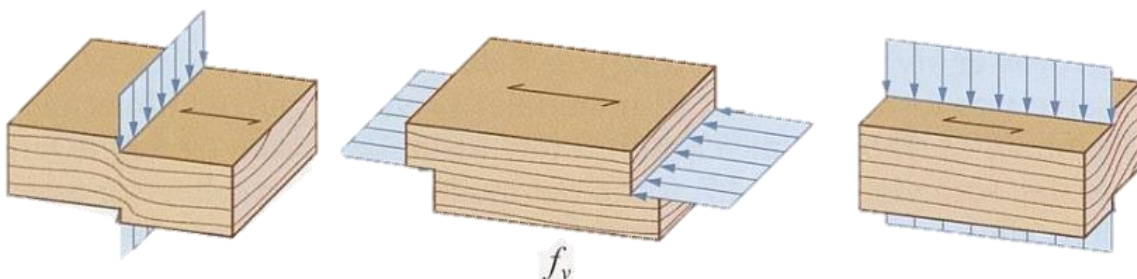
Bøyefastheten til et materiale vil være en kombinasjon av trevirkets strekk- og trykkfastheter. Bruddspenningen til konstruksjonstrevirke for eksempel av fasthetsklasse C24 anslås å være 24 N/mm^2 , mens testing av små feilfrie prøver vil ha en langt høyere bruddspenning. De kan tåle $70\text{-}100 \text{ N/mm}^2$ (Bell, 2017).



Figur 5: Illustrasjon av bøyefasthet (f_m), hentet fra "Dimensjonering av trekonstruksjoner" av Kolbein Bell

2.5.4 Skjærfasthet

Skjærkrefter kan oppstå i forskjellige retninger, men vanlig bruddform for trevirke er skjærfastheten som går parallelt med fibre og dermed vil denne anvendes som f_v . Trevirkets anisotrope egenskaper gjør at skjærmotstanden vil være langt sterkere med fiberretningen enn på tvers av den. Virkefeil som fiberhelning og kvist (ved gunstig plassering) kan her komme til gode ved å øke skjærfastheten, mens tørkesprekker kun vil redusere den. På generell basis vil også skjærmotstanden være større for små feilfrie prøver enn vanlig konstruksjonstrevirke (Bell, 2017).



Figur 6: Illustrasjon av skjærfasthet (f_v) i ulike retninger, hentet fra "Dimensjonering av trekonstruksjoner" av Kolbein Bell

2.5.5 E-modul

E-modul (Elastitetsmodul) er et av materialets stivhetsegenskaper. Den er uttrykt med forholdstallet mellom spenningene påført materialet og den relative elastiske deformasjonen den påfører (Ormestad, 2024). Også her vil retningen med eller normalt på fiberretning ha mye å si for et trevirke, grunnet materialets anisotrope egenskaper.

De ulikeforskjellige stivhetsegenskapene er følgende:

- ($E_{0, \text{mean}}$) : Middelverdien av elastitetsmodulen i fiberretning,
- ($E_{0,05}$) : 5% fraktilen av E-modulen parallelt med fibre,ne,
- ($E_{90, \text{mean}}$): Middelverdien av E-modulen tvers på fibre,ne og
- (G_{mean}): Skjærmodulen langsetter fibre,ne.

Testing av disse vil vise store forskjeller hvorvidt testvirket er små, feilfrie prøver eller vanlig bruksvirke med feil i form av kvist eller fiberhelning. Et materiale med fasthetskklasse C24 vil ha en E-modul på 11 000 N/mm² (Bell, 2017).

2.5.6 Densitet

Densiteten (ρ) som tidligere nevnt er definert som massetettheten til et materiale, og er et forhold mellom masse og volum. Densitet er en viktig egenskap i treverket, ettersom at denne kan påvirke en rekke av treverkets styrke også relatert til treverkets andre egenskaper, som vist i *Figur 7* (Bell, 2017).

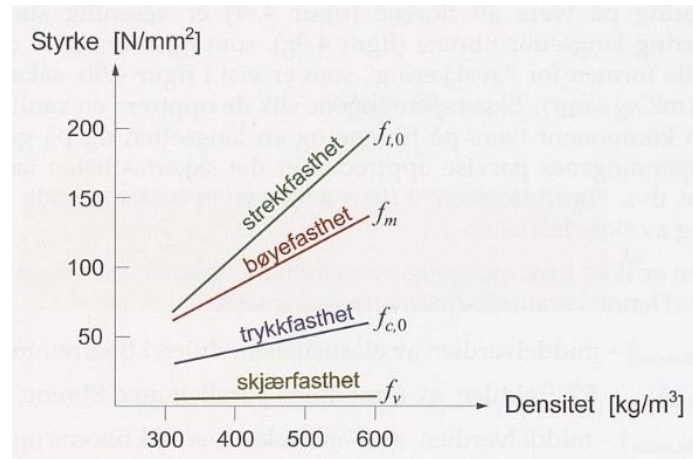
$$\rho = \frac{m}{V}$$

Formel 1: Densitet, hentet fra boka "Dimensjonering av trekonstruksjoner" av Kolbein Bell

der

m: Stykkets masse i kg

V: Volum i m³



Figur 7: Densitet og dens påvirkning av trematerialets egenskaper, hentet fra «Dimensjonering av trekonstruksjoner» av Kolbein Bell

Densiteten av norsk furu ligger i gjennomsnitt på rundt 490 kg/m^3 , mens norsk gran vanligvis har densitet på rundt 430 kg/m^3 i absolutt tørr tilstand. Ut fra dette vil densitet og volum variere en i brukstilstand, da trevirket er et hygroskopisk materiale og vil oppta fuktighet fra omgivelser. Som tidligere nevnt, ved tørking av tre vil først det frie vannet i hulrommene i cellene tørke og det er først når hulrommene er tørre at celleveggene også begynner å tørke (Edvardsen & Ramstad, 2017).

3 Case – Nytt plukkhogstmateriale

3.1 Plukkhogsten

Materialene som testes i denne oppgaven ble hogget som plukkhogst i november 2023.

Trærne ble hogget på Totenåsen i Østre Toten kommune, i et område som ligger omtrent 671 meter over havet, ved Bergsjøen. Da trærne skulle velges ut for hogst ble det satt kriterier som avgjorde hvorvidt treet skulle hogges eller ikke. Skogen trærne ble hentet fra ble valgt ut grunnet skogens alder og høyde over havet. Hensikten var å plukke ut gamle, saktevoksende trær som ville gi virke med høy tetthet og dermed høy styrke. Videre var også kvistkarakter og dimensjonen for virket grunnlag for valg av trær.

Diameteren på trærne ble målt før hogging for å anslå alder samt hvilke virkedimensjoner treet kunne gi. Det ble gjort kjerneboring på furuene ved å ta ut en sylindret prøve fra utsiden av treet og inn til kjernen, slik at de kunne se hvor mye kjerneved treet hadde. Hogsten ble gjennomført og organisert av oppgavens oppdragsgiver og veileder Thomas Haavi fra NTNU med Jon Bojer Godal som «læremester». Videre var også andre interesserte fra Omtre og NTNU med på både hogging og saging av materialene. Sagingen fant sted på Gotterud sag på Reinsvoll 8. og 9. april 2024, og materialene ble videre fraktet til Gjøvik 16. april.

Det ble totalt levert tjuesju sagede trevirke av furu og gran til Gjøvik, men grunnet oppgavens omfang og tidsramme er det lagt vekt på tretten av dem, da disse er mest interessante å avdekke kvaliteten for oppgavens oppdragsgiver. Ti av virkene var av dimensjon ca. 5"x5", og tre av dimensjonen ca. 3"x4". Av disse tretten stokkene er det antatt seks av furu og resten er gran.



Bilde 1: Tømmer før saging, foto: Silje Hoem Johansen



Bilde 2: Parti av trevirke etter saging, foto: Thomas Haavi

3.2 Materialenes formål

Materialene skal brukes til å bygge et bygg bestående av en kombinasjon av nytt (plukkhogst) og eldre brukt trevirke (se Vedlegg 9). Bygget skal være demonterbart, og kan dermed flyttes ved behov. Det skal bygges med gamle tradisjonelle byggeteknikker med blant annet fotningsrøst, og bunnsviller med kjerneved. Den sistnevnte gjort for å oppnå en naturlig impregnering i det fuktutsatte området i bunn. Flere av stukkene inneholder også margen, med hensikt å ha mest mulig kjerneved. Dette vil igjen naturlig danne et mer fuktbestandig

bygg. Ti av stokkene er skjært i dimensjonen 5"x5" tommer da dette var en vanlig dimensjon for låvetømmer tidligere. Det ble også skjært ut andre dimensjoner av enkelte stokker der det passet.

3.3 Merking

Stokkene ble merket og nummerert rett etter hogging på tømmeret i et system som sier noe om treopprinnelsen og rekkefølgen trærne ble hogget i, samt hvilken del av treet i høyderetningen stokken er hentet fra. Det første tallet refererer til fellerekkefølgen og treopprinnelsen. Bokstavene markerer hvilken ende av treet i høyderetning stokken kommer fra. Endene på stokken har vær sin bokstav, og øker alfabetisk med høyderetningen av treet. Enkelte stokker har i tillegg ett tall bak bokstaven der det finnes flere trevirker av samme opprinnelse av både tre og del av tre. Eksempelvis vil emne 1A-B ha en opprinnelse fra tre nr. 1, hvor A er enden nærmest rot og B er enden der trevirket ble kappet i høyden. Dermed vil stakk 1C-D være fortsettelse av 1A-B, hvor C er enden der B/C ble kappet og D neste kapp i høyden lengre opp i treet. Videre vil 1A-B.1 og 1A-B.2 begge være fra tre nr. 1 og fra samme del A-B, og dermed saget ut flere trevirker fra samme tømmer.

Oversikt trevirke for test			
Emne, Trevirke	Emne, Ende	Del av treet	Tresort
		Topp/Bunn	
2A-B.1	2A.1	Bunn	Gran
	2B.1	Topp	
2A-B.2	2A.2	Bunn	Gran
	2B.2	Topp	
3A-B.1	3A.1	Bunn	Gran
	3B.1	Topp	
10A-B.1	10A.1	Bunn	Furu
	10B.1	Topp	
10A-B.2	10A.2	Bunn	Furu
	10B.2	Topp	
10A-B.3	10A.3	Bunn	Furu
	10B.3	Topp	
10A-B.4	10A.4	Bunn	Furu
	10B.4	Topp	
12A-B.1	12A.1	Bunn	Furu
	12B.1	Topp	
10G-H.1	10G.1	Bunn	Gran ¹
	10H.1	Topp	
9C-D.1	9C.1	Bunn	Gran
	9D.1	Topp	
5A-B.2	5A.2	Bunn	Gran
	5B.2	Topp	
7A-B.1	7A.1	Bunn	Gran
	7B.1	Topp	
X-Y.1	X.1	x	Furu
	Y.1	y	

Tabell 1: Oversikt over trevirke for test

Det ble avdekket en merkesfeil da materialene ankom Gjøvik, hvor det blant de 27 stokkene var fire som var markert som 10A-B. Underveis i test-perioden ble det avdekket at disse trolig er fra tre nr.11, og skulle vært merket som 11A-B. De fire emnene dette gjelder ble likevel markert som 10A-B.1, 10A-B.2, 10A-B.3 og 10A-B.4 for å beholde system og oversikt over

¹ Antatt gran da 10G-H er antatt riktig markering og tilhører faktisk treopprinnelse 10, i motsetning til 10A-B.1 – 4 som har feil markering og har mest sannsynlig treopprinnelse 11 og dermed furu.

materialene, og refereres til som 10A-B videre i oppgaven. Et emne kom umerket, og ble derfor merket som X-Y. Det aktuelle trevirket ble antatt furu da det var tydelig kjerneved.

4 Metode

4.1 Kvantitativ metode

Kvantitative studier omfatter datainnsamling og dataanalyse av målbare data og statistiske analyser. Dataene er av begrenset mengde og består av en eller flere enheter, hvor dataene med enhetene spesifiseres og registreres. Med statistiske metoder blir dataene analysert, hvor ved korrelasjonsanalyse får frem sammenhengen mellom to variabler, eller regresjonsanalyse hvor en avhengig variabel påvirkes av en eller flere uavhengige variabler. (Grønmo, 2023).

Reliabilitet og validitet uttrykker kvantitative datas kvalitet. Reliabiliteten forteller hvor pålitelige dataene er, og hvor nøyaktige datainnsamlingen er. Validiteten viser derimot i hvilken grad man har gyldige data og om de er relevante for problemstillingen (Grønmo, 2023).

Problemstillingens form og omfang gjør at det vil være mest hensiktsmessig å benytte kvantitativ metode for å belyse resultat og diskutere disse på en oversiktlig måte. Talldata hentes inn fra flere undersøkelser og holder oversikt over dataene man har og får på en systematisk måte ved bruk av oversiktlige tabeller, skjema og statistikk. Med flere undersøkelser og bredere datamengde blir resultatene sikrere og mer troverdige. Resultatene blir analysert og vurdert for å kunne svare på problemstillingen.

4.2 Excel og beregning

De målte resultatene fra undersøkelsene og testene blir tatt med videre for beregning av ulike egenskaper av trevirket. Det er gjort på denne måten for å kunne si noe om kvaliteten og dermed kunne bidra til å svare på problemstillingen.

Beregning og oversikt over testmateriale ble gjort i utformet regneark i programmet Microsoft Excel. Dataene fra testresultatene ble satt inn i tilhørende regneark med formlene presentert i kapittel 2 *Teori*. Videre vil resultatene analyseres og diskuteres for å svare på problemstillingen og gi en endelig konklusjon. Excel ble blant annet benyttet til å regne ut

densitet, fuktinnhold, E-modul og bøyefastheten samt gjennomsnitt av resultatene fra flere tester på samme prøve. Excel ble også brukt for å holde oversikt over materialene og resultatene av testene i gjennomføringsfasen.

4.3 Kvalitetssortering av trevirke

For å kunne si noe om kvaliteten til plukkhogsten, må styrkereduserende faktorer avdekkes og det må utføres tester som gir resultater som kan si noe om styrken. Dermed vil det også være mulig å sortere trevirket etter sorteringsklasser (Øvrum & Skaug, u.d.).

For å avdekke styrkenedsettende faktorer er det gjort som nevnt i avgrensning løpende notering og dokumentering i form av bilder og skille de mellom menneskeskapt og naturlige. Alle trematerialer må også følge samme testprosedyre og metode fra samme standarder for å kunne sammenlignes og belyse forskjellene av egenskapsverdiene og testresultater.

Det er to ulike måter å sortere trelast, hvor en av de skal velges, etter standarden NS-EN 14081 (European Committee for standardization, 2016):

- Visuell styrkesortering, følges etter NS INSTA 142
- Maskinell styrkesortering, følges etter NS – EN 14081

Det er likevel valgt å utføre begge metoder for styrkesortering for å sammenligne og belyse forskjeller av resultater ved de to ulike sorteringsmetodene.

Det er også fulgt deler eller hele av andre standarder for testing og styrkesortering:

Standarden NS-EN 408, som omhandler kontrollering av trevirke i lab-testing. Den tar for seg noen fysiske og mekaniske egenskaper som blant annet E-modul, skjærstyrke, strekkfasthet og bøyefasthet for limtre og konstruksjonsvirke (European Committee for standardization, 2010).

ISO 13061-1 og 2 er standardene som beskriver metoden for å avdekke fuktinnhold og densitet av tre ved tørking av små defektfrie prøver til fullstendig tørr tilstand (The International Organization for Standardization, 2014). Det er også fulgt standarden ISO 3129 som spesifiserer metoder for omfattende og begrenset prøvetaking og klargjøring av tømmer

av sortert, usortert eller presortert saget trevirke til mekanisk og fysisk testing (The International Organization for Standardization, 2019).

Fasthetsklassene og styrkeklassene for bartre og løvtre blir beskrevet i standarden NS-EN 338 i en tabelloversikt på bakgrunn av de mekaniske egenskapene og styrkeverdiene fastsatt blant annet av overnevnte standarder (The International Organization for Standardization, 2016). Se Vedlegg 2-6 for tabellene fra standarden.

4.3.1 Visuell styrkesorteiring, NS-INSTA 142

Visuell styrkesortering er valgt som metode for å kunne styrkesortere trevirket og avdekke trevirkets styrkenedsettende faktorer, samt skille mellom de naturlige og menneskeskapte faktorene. Opprinnelig kvalitet og potensiale som konstruksjonsvirke belyses, hvor faktorene av feilproduksjon og lagring ikke er med i vurderingen av styrkesorteringen. De blir imidlertid notert og tatt med til en separat vurdering omhandlet menneskeskapte styrkenedsettende faktorer. Det blir også vurdert om visuell styrkesortering kan være en metode eller en lignende metode for en enkel men effektiv styrkesortering av brukt trevirke, der det ikke kreves maskinell testing.

Visuell styrkesortering er en metode for å sortere trevirke etter kvalitet, uten behov for maskinell testing. NS-INSTA 142 er standarden for den visuelle styrkesorteringen og gjelder for treverk fra nord og Nord-Øst-Europa. Standarden identifiserer egenskapene og definerer sorteringsspesifikasjoner for visuell styrkegradering av trevirke ment for bærende konstruksjonsformål (Standard Norge, 2010).

Trevirke blir gradert etter sorteringsklassene; T3, T2, T1, T0 i synkende styrkerekkefølge for konstruksjonsvirke og LT40, LT30, LT20 og LT10 i synkende styrkerekkefølge for limtre. Det er ulike krav basert på dimensjonene og om det er saget virke eller limtre. De blir delt opp i tre følgende deler (Standard Norge, 2010):

- Trevirke med tykkelse $t \geq 45$ mm eller bredde på $b > 75$ mm (Tabell 1-6 i NS INSTA 142).
- Trevirke med tykkelse $22 \text{ mm} \leq t \leq 45$ mm og bredde på $50 \text{ mm} \leq b \leq 75$ mm, med bestemmelser kun for gradene T2 og T1 (Tabell 7-10 i NS INSTA 142).

- Treverk med tykkelse $t \leq 50$ mm for industriproduserte limtre (Tabell 11-14 i NS INSTA 142).

Standarden dekker styrkesortering i utgangspunktet for gran (*Picea abies* og *Abies alba*), sitkagran (*Picea sitchensis*), douglas gran (*Pseudotsuga menziesii*), furu (*Pinus sylvestris*) og lerk (*Larix decidua*, *Larix eurolepis*, *Larix kaempferi*) (Standard Norge, 2010). *Tabell 2* viser sorteringsklassene, de korresponderende fasthetsklassene og tresortene, *Tabell 3* viser sorteringsklassenes densitet.

Strength class	Strength grade	Commercial name
C30	T3	Spruce
	T3	Pine
	T3	Fir
	T3	Larch
	T3	Douglas fir
C24	T2	Spruce
	T2	Pine
	T2	Fir
	T2	Larch
	T2	Douglas fir
	T2 and better	Sitka spruce
C18	T1	Spruce
	T1	Pine
	T1	Fir
	T1	Larch
	T1	Douglas fir
	T1	Sitka spruce
C14	T0	Spruce
	T0	Pine
	T0	Fir
	T0	Larch
	T0	Douglas fir
	T0	Sitka spruce

Tabell 2: Oversikt over styrkeklasse, korresponderende styrkegrad og tresort, hentet fra NS-INSTA 142

Strength grade	T0	T1	T2	T3
Characteristic density, ρ_k [kg/m ³]	350	350	360	380

Tabell 3: Styrkegradens densitet, hentet fra NS-INSTA 142

Standarden omfatter kriterier som avgjør sorteringsklassen for trevirket. Ulike varianter av kvist og sprekker, åringbredde, fiberhelling, ulike former for deformasjon og skader, fukt, råte, misfarging og insektangrep, kvaer (harpiks) og arr er punkt som bedømmer styrkegraden (Standard Norge, 2010).

Trevirket blir ikke vurdert med limtre-delen av visuell styrkesortering, da det som nevnt i avgrensning kun vurdert som konstruksjonsvirke brukt direkte. Styrkenedsettende faktorer skapt av mennesker som for eksempel tørkesprekker, eller krav som omhandler fukt eller

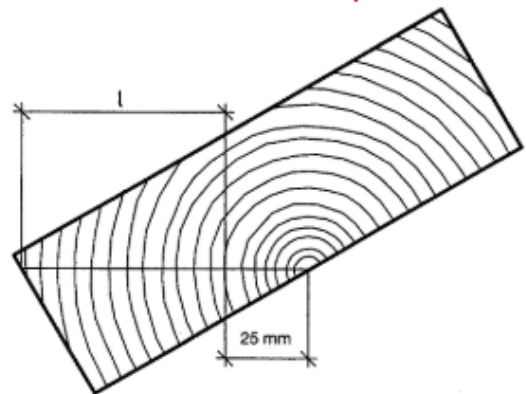
dimensjon blir som nevnt ikke vurdert for styrken, men notert for en egen separat vurdering omhandlet styrkenedsettende faktorer.

Visuell styrkesortering ble gjort av gruppelemmene og gjennom dialog med treteknisk for veiledning ved spørsmål og tvil.

Beskrivelser og forklaringer av de fleste punkter for styrkesortering inkluderer i standarden:

Årringbredde

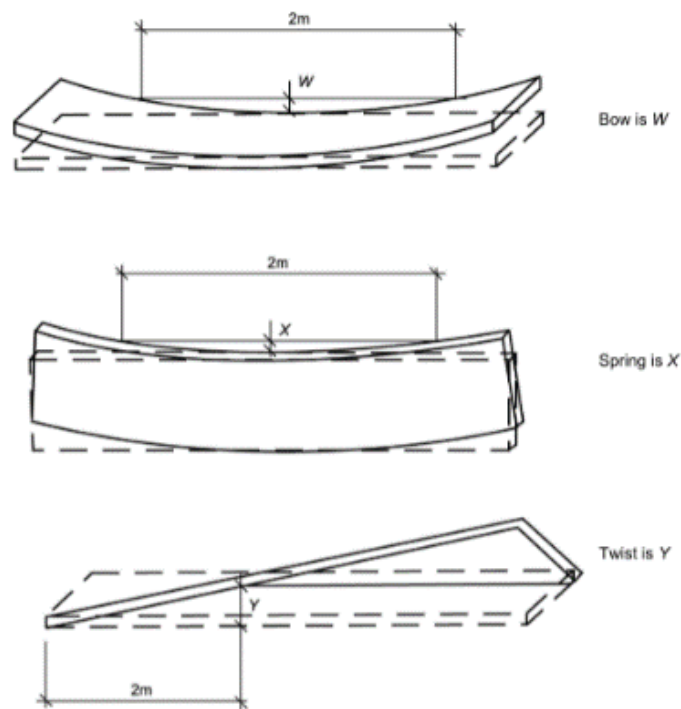
Årringbredden måles i radiell retning fra startpunktet minst 25 mm fra marginen av stammen til enden av tømmeret, som vist i *Figur 8* til høyre. Årringbredden er l/n , hvor n er antall årringer over lengden l .



Figur 8: Måling av årringbredde, hentet fra NS-INSTA 142

Deformasjoner

Deformasjonen måles over en lengde på 2 m, der avstanden mellom materialoverflaten og grunnlinjen måles som vist i *Figur 9*.



Figur 9: Måling av deformasjon, hentet fra NS-INSTA 142

Tørkesprekker

Lengden og bredden av området tørkesprekken omslutter seg til måles i millimeter eller som prosentandel over overflatens lengde, om nødvendig også dybden på sprekken (EN 1310 4.9.1).

Ringsprekker

Ringsprekker måles på samme måte som ved flatesidesprekker, kantsidesprekker, endesprekker og gjennomgående sprekker. Lengden av sprekken måles (i millimeter) ved å bestemme avstanden mellom to linjer vinkelrett på stykkets lengdeakse gjennom sprekkens ender. Dersom det er sprekkgrupper eller flere sprekker, måles gruppens totale lengde.

Fiberhelling

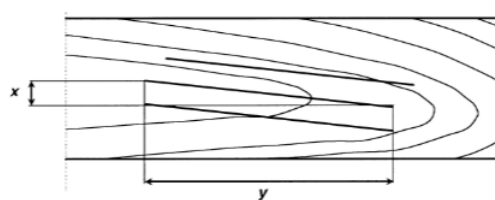
Fiberhellingen bestemmes av forholdet mellom fiberavviket x og lengden y i millimeter (x/l) som vist under i *Figur 11* etter standarden NS-EN 1310 4.4.1.

For å finne fiberhellingen brukes rissenål som hjelpemiddel (*Figur 10*), hvor man trekker rissenålen langs den antatte fiberhellingen med tilstrekkelig trykk og lager en linje som viser den nøyaktige fiberhellingen.



Figur 10

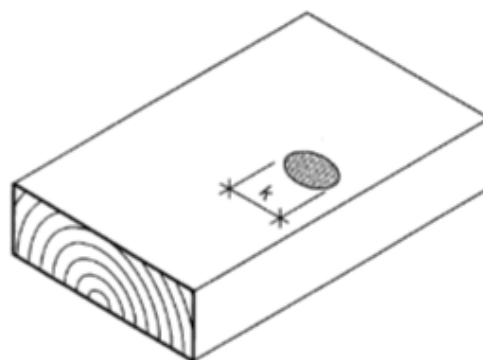
: Rissenål, hentet fra NS-EN 1310



Figur 11: Måling av fiberhelling, hentet fra NS-EN 1310

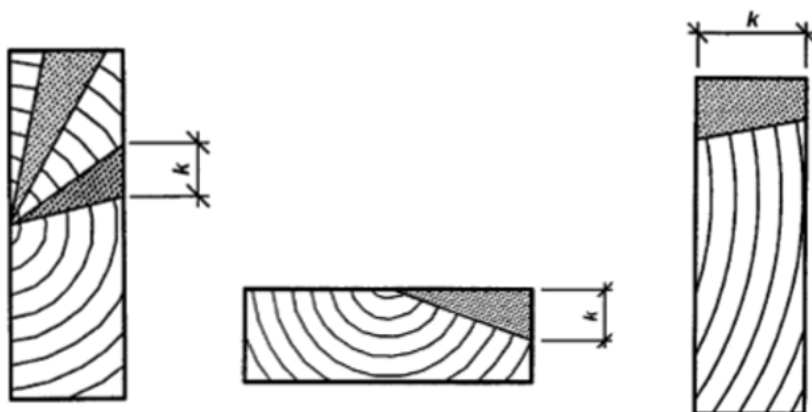
Kvist

Når kvist er nær senter av tverrsnittet av trevirket, er en av sidene innsiden (margsiden). Utenom utvending gankvist, blir kvistens dimensjon k (inkludert eventuelt bark rundt kvist) målt rettvisklet på trevirkets lengde ved sorteringstidspunktet som vist i *Figur 12*. Kvister med en dimensjon på 7 mm eller mindre blir sett bort ifra.

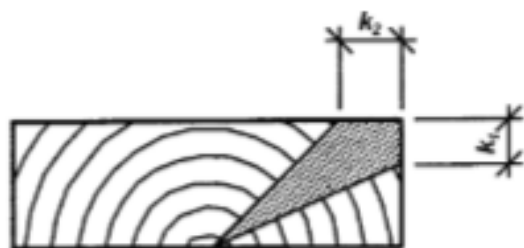


Figur 12: Måling av kvist, hentet fra NS-INSTA 142

Figur 13 viser eksempler på kvist som også måles som overnevnt; fra venstre er nr.1 kvist på kantsiden i sin helhet (kantsidekvist), nr. 2 kvist på flatsiden i sin helhet (flatsidekvist), nr. 3 kvist gjennom langsiden, eksponert på kantsiden.



Figur 13: Eksempel på kvisttyper som måles på samme måte som kvist på figur 12, hentet fra NS-INSTA 142

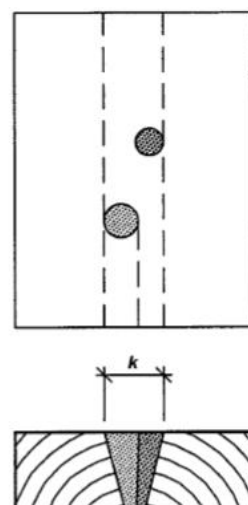


$$\text{Kvistmål} = k_1 + 0,5k_2$$

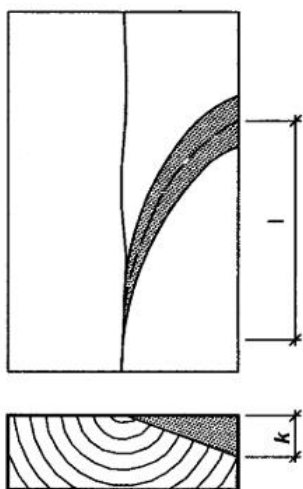
Figur 14: Måling av inngående hjørnekvist, hentet fra NS-INSTA 142

For hjørnekvist på utsiden (inngående hjørnekvist) blir ikke dimensjonen målt som førstnevnt, men hvor kvistdimensjonen på kantsiden blir addert med $\frac{1}{2}$ av dimensjonen på flatsidekvisten, som vist til venstre på Figur 14.

Når to kvister ikke er adskilt eller overlapper, måles de som én, som vist til høyre i Figur 15.



Figur 15: Måling av overlappende kvist, hentet fra NS-INSTA 142

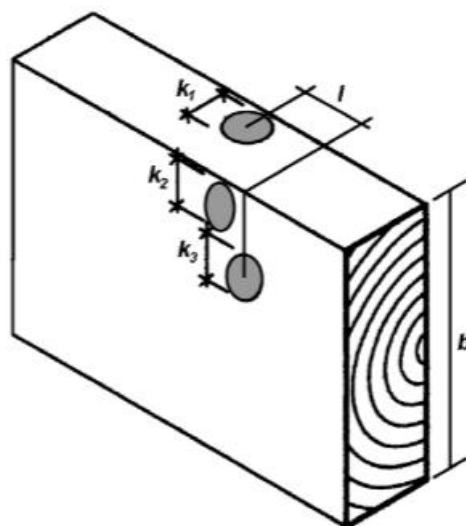


Gankvist med en liten vinkel til margen av treet, som vist på *Figur 16*, krever også mål av lengden l på flatsiden i tillegg til dimensjonen k på kantsiden. Begge måles rettvinklet på materialoverlaten.

Figur 16: Måling av gankvist med liten vinkel til marg, hentet fra NS-INSTA 142

Kvistgrupper som er flere kvister som oppstår nær hverandre på en eller flere sider. En kvistgruppe består av alle målbare kvister på begge kantsider og ytesiden innenfor en maksimal lengde l_{kc} lik plankebredden b , eller over 150 mm lengde der planken er bredere enn 150 mm. Lengden av kvistgruppen l måles mellom senter av de ytterste kvistene av kvistgruppen, som vist i *Figur 17* til venstre.

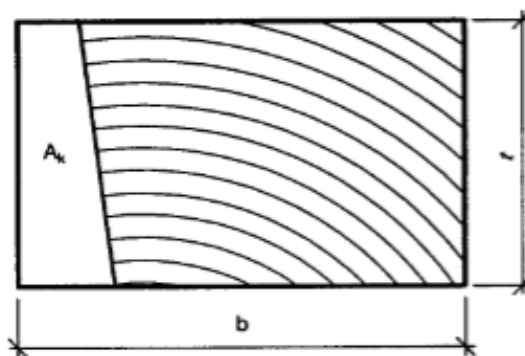
Mål av kvistgruppen er summen av alle kvistdimensjonene på flatsiden og begge kantsidene, målt rettvinklet på treverksoverflaten som hos de førstnevnte kvistene. Overlappede kvister i kvistgrupper måles som en, som ved andre overlappende kvister.



$$\begin{aligned} \text{Kvistgruppe mål} &= k_1 + k_2 + k_3 \\ l &\leq l_{kc} = \min(b; 150 \text{ mm}) \end{aligned}$$

Figur 17: Måling av kvistgruppe, hentet fra NS-INSTA 142

Kvist i trevirke av dimensjon $t \leq 45$ mm og $b \leq 75$ mm blir vurdert med kvistandel. Kvistandel er forholdet mellom kvistarealet A_k og trevirkets tversnittsareal ($b \cdot t$) og kvistens areal, som vist i *Figur 18* til høyre.



$$\begin{aligned} \text{Kvistareal} &= A_k, \text{ Tversnittsareal} = (b \cdot t) \\ \text{Kvistandel} &= A_k / (b \cdot t) \end{aligned}$$

Figur18: Måling av kvistareal (A_k) og kvistandel, hentet fra NS INSTA 142

Krav og toleranser

Det er ikke alt av trevirke som kan gjennom en visuell styrkesortering. Det er ulike krav og toleranser som må følges for å få en gyldig sortering:

Flere punkter har krav i forhold til fuktinnhold ved styrkesortering, som for eksempel sprekker og deformasjon (se i tabell 1, 3, 7, 8, 11 i standarden NS INSTA 142).

referansecfuktighetsnivået er 20 %, og ved lavere eller høyere nivåer av fukt justeres kravene etter det (Standard Norge, 2010).

Målstørrelsen for T-trevirke og LT-trevirke gjelder ved et fuktighetsnivå på 20 %. Ved andre fuktnivå mellom 0 og 30%, justeres målene med 0,25% for hver 1 % fukt av avvikende fuktighetsinnhold (Standard Norge, 2010).

Endring av dimensjon etter styrkesorteringen på mer enn 5 mm, eller 10 mm for dimensjoner over 100 mm, vil gjøre styrkesorteringen ugyldig. Kløyvning av trematerialet etter styrkesorteringen vil også gjøre resultatet ugyldig. Saging av tverrsnitt endrer ikke styrkeegenskapene og er tillat så lenge det ikke fører til sprekker som overstrider kravene i standarden (Standard Norge, 2010).

Et parti er et antall saget tømmer med samme tykkelse og bredde. De skal være tørket etter samme spesifikasjoner og 93.5% av alt trevirke skal ha et fuktighetsnivå ikke lavere enn 0.7 ganger fuktighetsreferansen og ikke høyere enn 1.3 ganger fuktighetsreferansen etter standarden EN 14298 (Standard Norge, 2010).

Et parti med trelast gradert til et målt fuktighetsnivå på 18 % (med en toleranse på + 2/-2.5 %) eller lavere oppfyller kravene til å kategoriseres som tørrsortert trevirke (Standard Norge, 2010). For flere spesifikasjoner for parti og kontroll av fabrikkproduksjon, se 6.1.4 og 6.1.5 i NS INSTA 142.

4.3.2 Firepunkts bøyetest (NS-EN 408)

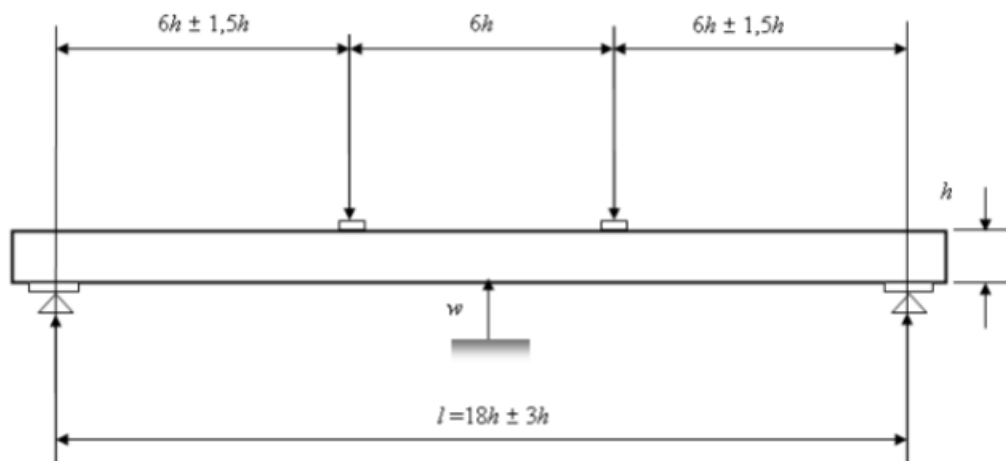
Firepunkts bøyetest fulgt etter standarden NS-EN 408 ble brukt som metode for å avdekke trevirkets globale E-modul og bøyefasthet. Etter krav fra veileder ble hvert trevirke testet tre omganger, da etter erfaring endres resultatene noe etter flere tester og ville undersøke dette nøyere. I resultat vises beregningen av gjennomsnittet av de tre testomgangene. Dataene er gjennomsnittet av nedbøyningsdata av presse og uavhengig sensor (se Vedlegg 11 for oppsett av sensor). I tillegg ble også fuktigheten målt med fukthammer rett etter testing og registrert, da lagring og tørking ikke har vært optimalt og kan derfor påvirke resultatene.

Dimensjonene til trevirket skal måles med en nøyaktighet på 1% og skal gjøres når trevirket har vært i en omgivelse med en temperatur på 20 ± 2 °C og en relativ fuktighet på $65 \pm 5\%$ til en konstant masse. Konstant masse er oppnådd når to påfølgende vektmålinger utført med et intervall på 6 timer, ikke avviker fra hverandre med mer enn 0.1% av prøvens masse (European Committee for standardization, 2010).

Ifølge standarden skal prøven ha en lengde minimum 19 ganger trevirkets høyde (h), men dersom det ikke er mulig skal dette oppgis. Prøvestykket skal enkelt støttes mens den belastes jevnt og symmetrisk med bøyning over et spenn på 18 ganger høyde (h), som vist i *Figur 19*. Dersom prøvestykket eller utstyret ikke gjør dette mulig, kan avstanden mellom og eller støttene endres med en mengde som ikke er større enn tre ganger stykkets bredde, dersom prøvens symmetri opprettholdes (European Committee for standardization, 2010).

For å minimere punktbelastning, og heller oppnå en jevn belastning over trevirkets lengde kan man bruke små stålplater mellom trevirket og belastningspunktene. Stålplatene kan ikke være større enn $\frac{1}{2}$ av trevirkets dybde. Ved behov kan også en sidesperre benyttes for forhindring av sideveis knekking (torsjon) med betydningsfri friksjon (European Committee for standardization, 2010).

Belastningen skal påføres med en konstant hastighet. Hvor hastigheten ikke skal være større enn $0.003 h \text{ mm/s}$. Den maksimale belastningen skal ikke overstige $0.4 f_{\max,est}$. Da bøyefasthet i tillegg til global E-modul skulle beregnes, må også belastningen påføres med en konstant stigning, der maksimal belastning nås innen $300 \pm 120 \text{ s}$ (European Committee for standardization, 2010).



Figur 19: Oppsett for firepunkts bøyetest, hentet fra NS-EN 408

Den estimerte maksimale belastningen F_{\max} for trevirket som testes hentes fra tester på minst ti stk. av samme eller lignende art, størrelse og kvalitet, eller fra aktuelle eksisterende testdata (European Committee for standardization, 2010). Da trevirket er av plukkhogst er det manglede data for faktiske F_{\max} og ble det tatt i utgangspunkt i C24 og brukt en gjennomsnittlig dimensjon på $130 \text{ mm} \times 130 \text{ mm}$ for 5"x5" og $75 \text{ mm} \times 105 \text{ mm}$ for 4"x3" for å beregne $0.4F_{\max,est}$.

Maskinen som brukes for bøyetest skal være i stand til å måle belastningen med en nøyaktighet på 1% av belastningen på prøvestykket eller for belastninger mindre enn 10% av den påførte maksimale belastningen, med en nøyaktighet på 0.1% av maksimumsbelastningen påført (European Committee for standardization, 2010).

Deformasjonen w skal måles i midten av spennet- eller trykkanten og ha en nøyaktighet på 1%. Når w måles ved nøytralaksen, skal det være gjennomsnittet av målene fra begge sider av

trevirket. Deformasjoner inkluderer også lokale fordypninger av støttene og eller lastepunktene (European Committee for standardization, 2010).

Alternative bestemmelsesmetoder basert på den dynamiske elastisitetmodulen er tillatt forutsatt at korrelasjonen mellom den målte dynamiske elastisitetmodulen og den globale elastisitetmodulen er godt etablert og dokumentert.

Testens resultater vises grafisk, der sammenhengen mellom belastningen og deformasjonen demonstreres, hvor området mellom $0.1 F_{\max,est}$ og $0.4 F_{\max,est}$ vises for å oppnå en regresjonsanalyse. Deretter finner den største delen som gir en korrelasjon på 0.99 eller bedre, og dekker minste område mellom $0.2 F_{\max,est}$ og $0.3 F_{\max,est}$ og deretter bruker de verdiene til å beregne den globale elastisitetmodulen ($E_{m,g}$) gitt som:

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)}$$

Formel 2: Global E-modul ($E_{m,g}$), hentet fra NS-EN 408

Hvor:

a : avstand mellom opplager og kraftpåføring

l : lengde mellom opplager

b : bredde på emnet

h : høyde på emnet

$F_2 - F_1$: høyeste og laveste last i N som en finner i regresjonslinjen med en samme korrelasjon på 0.99 eller bedre

$w_2 - w_1$: deformasjonen (mm) knyttet til samme belastning som F_2 og F_1 påfører.

G : Skjærmodulen til emnet

Skjærmodulen er ukjent og settes derfor $G = 650 \text{ N/mm}^2$ og $G = \infty$, etter 10.3 i NS – EN 408.

Når skjærmodulen settes til uendelig, er det nødvendig å korrigere verdien i henhold til EN 384: 2016 5.4.4 (7).

Elastitetsmodulen (E_0) er gitt etter:

$$E_0 = E_{m,g} * 1,3 - 2690$$

Formel 3: Elastitetsmodul (E_0), hentet fra NS-EN 408

Hvor:

$E_{m,g}$: global E-modul med $G = \infty$.

Beregnet bøyefastheten (f_m) med følgende formel:

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

Formel 44: Bøyefasthet (f_m), hentet fra NS-EN 408

Hvor:

F : høyeste påførte last [N]

a : avstand mellom opplager og kraftpåføring

b : bredde på emnet

h : høyde på emnet

4.3.3 Densitet og fuktinnhold ved tørking (ISO 13061-1 og 2, ISO 3129)

Fuktinnhold

Fuktinnholdet av trevirket er en viktig faktor for påvirkning av treets fysiske og mekaniske egenskaper (Tronstad, 2013). Det ble fulgt standarden ISO 13061-1 for å avdekke det nøyaktige fuktinnholdet. Standarden tar for seg testmetode for bestemmelse av fuktnivå av trevirke gjort med prøver. Standarden beskriver fuktinnholdet som følgende:

«Fuktighetsinnholdet beregnes som massetapet i prosentpoeng av massen til prøvestykkene etter tørking. Da fuktigheten er uttrykt som en prosentandel av ovenstørr masse av prøvestykket, kan fuktighetsinnholdet overstige 100%.» (European Committee for standardization, 2016). «Fuktighetsinnholdet beregnes som massetapet i prosentpoeng av massen til prøvestykkene etter tørking. Da fuktigheten er uttrykt som en prosentandel av ovenstørr masse av prøvestykket, kan fuktighetsinnholdet overstige 100%.» (European Committee for standardization, 2016).

Densitet

Massetetthet eller densitet, er masse [kg] per volum [m^3] og er en viktig faktor for trevirkets styrke og mekaniske egenskaper, og av den grunn er vi interessert i å avdekke densiteten til trevirket. Smalere åringbredde indikerer ofte på høyere densitet og dermed også sterkere trevirke (Øvrum & Skaug, u.d.).

Det ble fulgt prosedyren etter standarden ISO 13061- 2, som spesifiserer metode for å bestemme densiteten til trevirket gjort med små feilfrie prøver. Prøvene er av rektangulære prismer, hvor dimensjonen på prøvene må være minst 20 x 20 x 20 mm og ikke ha defekter som kvist eller sprekker. Da densiteten varierer etter fuktinnholdet, ble det beregnet densitet ved to tilstander:

- Densitet i absolutt tørr tilstand.
- Densitet ved spesifisert fuktighetsinnhold.

Uttak og klargjøring av prøver:

Prøvene blir tatt ut og klargjort etter standarden ISO 3129 i tillegg til ISO 13061- 1 og 2, da deler av uttak og klargjøring blir henvist til den førstnevnte. Standarden ISO 3129 spesifiserer metoder for omfattende og begrenset prøvetaking og klargjøring av tømmer og sortert, usortert eller presortert saget trevirke til mekanisk og fysisk testing (The International Organization for Standardization, 2019).

Før uttak av prøver skal trevirket med standardisert fuktighetsinnhold tørkes på en temperatur på 20 ± 2 °C og en relativ fuktighet på $65 \pm 5\%$ til et fuktighetsinnhold nær likevektsinnhold og skal ikke endre seg før testing (The International Organization for Standardization, 2019).

Det ble tatt prismeformede prøver fra minst en side av trevirkene, for å belyse forskjellene mellom de ulike trevirkene. Prøvene som ble tatt av fra begge ender av trevirket ble brukt til å undersøke densitetsforskjellen i høyderetningen av et tre. Fibrene av prøvene er parallelt med trevirkets lengdeakse og årringene på endeflaten skal være parallelle og vinkelrett med motsatte endeflate. Som nevnt over skal prøvene ha en dimensjon på minst 20 x 20 x 20 mm etter ISO 13061-1 og 2, og skal ikke inneholde marg eller andre defekter etter ISO 3129.

Utstyr og prosedyre:

Utstyr med tilhørende krav for testing av densitet og fuktinnhold er følgende:

- Måleinstrument, for mål av dimensjon og lengde til nærmeste 0.1 mm (eller presisjon på ± 0.3 %).
- Vekt, for veiing av masse til prøvene med en presisjon på ± 0.2 % eller mindre.
- Tørkeskap med en konstant temperatur på 103 ± 2 °C for tørking av prøvene og tilhørende ventil for å slippe fukten ut.
- Eksikkator, en damptett beholder med fuktabsorberende materiale (for eksempel silikagel eller kalsiumklorid) for nedkjøling av prøvene.

Prosedyre for bestemmelse av tetthet og fuktighet:

Fremgangsmåten for å teste tettheten ved de to overnevnte tilstander og bestemmelsen av fukt blir gjort samtidig. Dette for å ha samme startverdier av masse og vekt og kan dermed utelukke endring av fuktnivå eller volum gjort eventuelt ved to ulike tidspunkt.

Alle prøvestykkene fra trevirkene blir nummerert og registrert av hvilket trevirke og hvor på trevirket det opprinner fra. Deretter blir dimensjonen på høyde, bredde og lengden av prøvestykkene målt, veid og registrert digitalt på Excel regneark.

Prøvende blir lagt inn i tørkeskap og tørkes gradvis i en konstant temperatur ($103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) for å minimere forvrenging og sprekker eller kløyvning. Prøvene anses i fullstendig tørr tilstand når massen endrer seg mindre enn 0.2% ved et intervall på minst 8 timer. Da prøvene oppnår fullstendig tørr tilstand, blir de tatt ut av tørkeskapet. De ble igjen målt og veid etter nedkjøling i en eksikkator. Målingen ble gjort til nærmeste 0.1 mm, veid med presisjon på 0.2% og registrert.

For bestemmelse av densitet ved spesifisert fuktinnhold ble følgende formel brukt:

$$\rho_W = \frac{m_W}{a_W \cdot b_W \cdot l_W} = \frac{m_W}{V_W}$$

Formel 55: Densitet ved spesifisert fuktinnhold (ρ_w), hentet fra NS-EN 13061-2

Hvor:

m_W : masse [kg] (eller g) av prøven ved et fuktinnhold W

a_W , b_W og l_W : dimensjonen i m (eller cm), av prøven ved et fuktinnhold W

V_W : Volum av prøven [m^3] (eller cm^3) ved et fuktinnhold W

Bestemmelse av densitet ved absolutt tørr tilstand gjøres ved følgende formel:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot l_0} = \frac{m_0}{V_0}$$

Formel 66: Densitet ved absolutt tørr tilstand (ρ_0), hentet fra NS-EN 13061-2

Hvor:

m_0 : massen [kg] (eller g) av prøve i absolutt tørr tilstand

a_0 , b_0 og l_0 : dimensjon [m] (eller cm) av prøve i absolutt tørr tilstand

V_0 : volum [m³] (eller cm³), av prøve i absolutt tørr tilstand

Fuktighetsnivået ble bestemt etter formel:

$$W, \% = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Formel 77: Fuktnivå i prosent (W,%), hentet fra NS-EN 13061-1

Hvor:

m_1 : massen [g] av prøvestykket før tørking

m_2 : massen [g] av prøvestykket i absolutt tørr tilstand

4.3.4 Fuktmåling med fukthammer (MMS2 BLD8800)

Egenskapene til trevirket blir påvirket av fuktigheten, dersom den er høy nok. Passerer fuktigheten 30%, kan egenskapene endre seg betydelig og bli svakere. Jo lavere fuktigheten er, jo sterkere blir treet, med beste egenskaper ved trefuktighet mellom 5% og 20% (Tronstad, 2013).

Før testing av firepunkts-bøyetest ble trevirkenes fuktigheten målt både av overflate og dypere i trevirket. Verdiene ble notert og lagt inn digitalt på Excel.

Fukt av trevirket ble målt med fukthammeren MMS2 BLD8800. «Fukthammeren er kraftig og allsidig instrument for måling og diagnostisering av fukt i bygninger og bygningsmaterialer. Den gir resultat med høy nøyaktighet, forutsatt at det er gjort riktig og kalibrert» (Proff Norge, u.d.).

Fuktmåleren har både lasermåling og stiftefuktmåler, hvor den sistnevnte er den riktige metoden for å teste trevirke, og er derfor nødvendig å velge «pin moisture meter» på fuktmåleren, og deretter velge tresort (Proff Norge, 2012).

5 Resultater

5.1 Visuell styrkesortering

Tabellen under viser en oversikt over emnene som det ble gjennomført visuell styrkesortering på samt styrkegraden de fikk basert på kriteriene gitt i NS INSTA 142. Styrkegraden i parentes er styrkegraden gitt ved en eventuell kapp i enden. Mer detaljert forklaring for gitt styrkegrad er under tabellen.

Emne	Styrkegrad
2A-B.1	T3
2A-B.2	T2
3A-B	Vrakes
5A-B.2	T3
7A-B	T2
9C-D	T3
10A-B.1	T2
10A-B.2	T0 (T3)
10A-B.3	T2
10A-B.4	T0 (T2)
10G-H	T3
12A-B	T2
X-Y	Vrakes (T2)

Tabell 4: Oversikt over resultat fra visuell styrkesortering

2A-B.1

Emnet graderes til T3 da samtlige faktorer er innenfor NS INSTA 142, forutsatt at emnet kuttet 3570 mm fra A grunnet vankant ved ende B.

2A-B.2

Emnet nedgraderes til T2 grunnet to kvister på flatsiden med diameter større enn 18.0 mm, som er 1/6 av bredden. På kantsiden er det to kvister større enn 26.8 mm som er 1/3 av høyden, som overstiger kravet for T3, men beholder T2.

3A-B

Emnet vrakes grunnet råte og brentved, som vist i *Bilde 3*.



Bilde 3: Råte og brentved av 3A-B, foto: Silje Hoem Johansen

5A-B.2

Emnet graderes til T2 da en kvist måles til å ha en diameter større enn 26.0 mm som er 1/5 av bredden. Tverrsnittet i A inneholder tennar, ca. 10%, uten endring i form ved tørking, som vist i *Bilde 5*. Tverrsnittet i B har soppdannelse i kanten, som vist i *Bilde 4*.



Bilde 4: Soppdannelse av enden 5B, foto: Silje Hoem Johansen



Bilde 5: Tennar i enden 5A, foto: Silje Hoem Johansen

7A-B

Emnet graders til T3 da samtlige faktorer er innenfor NS INSTA 142.

9C-D

Emnet graders til T3 da samtlige faktorer er innenfor NS INSTA 142, forutsatt at emnet kuttet 3700 mm fra C-enden grunnet vankant ved D, som vist ved *Bilde 6*.



Bilde 4: Bark og vankant av 9C-D, foto: Silje Hoem Johansen

10A-B.1

Emnet graders til T2 grunnet flere kvister med en diameter som overstiger kravet til T3 med $1/5$ av bredden = 26.0 mm.

10A-B.2

Emnet nedgraderes til T0 grunnet gankvist med lengde større enn emnets bredde, som vist i *Bilde 7*. Emnet kan graderes til T3 dersom det kuttet 1550 mm fra B, hvor gankvisten befinner seg.



Bilde 5: Gankvist, hornkvist og foreslått plassering av kapp av 10A-B.4, foto: Silje Hoem Johansen

10A-B.3

Emnet graderes til T2 grunnet en kvistgruppe og noen kvister større enn $1/5$ av bredden = 26.21 mm, som vist i *Bilde 8*.



Bilde 6: Kvistdimensjon over $1/5$ av trevirkets bredde av 10A-B.3, foto: Silje Hoem Johansen

10A-B.4

Emnet nedgraderes til T0 grunnet gankvist med lengde større enn emnets bredde på 131.5 mm. Emnet kan graderes til T2 dersom det kuttes 3485 mm fra A, hvor gankvisten befinner seg, men vil ikke kunne bli T3 grunnet to kvister med diameter større enn $1/5$ av bredden = 26.1 mm.



*Bilde 7: Gankvist av 10A-B,
foto: Silje Hoem Johansen*



*Bilde 8: Gankvist flatside av 10A-B,
foto: Silje Hoem Johansen*

10G-H

Emnet graders til T3 da samtlige faktorer er innenfor NS INSTA 142. Emnet har soppdannelse i yteveden i H, uten innvirkning på styrken.



Bilde 11: Soppdannelse av overflate på ende 10H, foto: Silje Hoem Johansen

12A-B

Emnet graderes til T2 grunnet fem kvister med diameter større og lik 1/5 av bredden = 25.8 mm, som vist i *Bilde 12*.



Bilde 12: Kvist over 1/5 av trevirkets bredde av 12A-B, foto: Silje Hoem Johansen

X-Y

Emnet nedgraderes til T0 grunnet råte langs kanten i Y (se *Bilde 13*). Emnet kan beholde T2 grunnet kvist med diameter over 1/5 av bredden = 26.6 mm (se *Bilde 14*), forutsatt at det kuttes 3945 mm fra X.



Bilde 11: Råte (overflate) av X-Y, foto: Silje Hoem Johansen



Bilde 10: Kvist med dimensjon over 1/5 av trevirkets bredde av X-Y, foto: Silje Hoem Johansen

5.1 Firepunkts-bøyetest

Resultater av global elastitetsmodul og bøyefasthet er gjennomsnittet av tre testomganger, beregnet med gjennomsnittet av nedbøyningsdata fra uavhengig sensor på undersiden og presse fra oversiden.

5.1.1 Global elastitetsmodul, $E_{m,g}$

Emne	Elastitetsmodul (firepunkts bøyetest)	
	N/mm ²	
	G = 650	G = ∞
2A-B.1	28591.7229	26044.9475
2A-B.2	28210.7903	2556.5711
3A-B	30630.3373	27672.5884
5A-B.2	3788.6644	5544.7460
7A-B	7229.9647	7051.1493
9C-D	5515.6200	5417.1740
10A-B.1	10522.9895	10158.8453
10A-B.2	12077.2584	11589.9034
10A-B.3	5517.02	5414.68
10A-B.4	3749.6345	5554.5905
10G-H	9181.3020	8902.2475
12A-B	9442.8817	9148.8490
XY	6079.9426	5880.8295

Tabell 5: Resultater - Global elastitetsmodul ($E_{m,g}$)

5.1.2 Bøyefasthet, f_m

Emne	Bøyefasthet, f_m
	N/mm ²
2A-B.1	9.08550718
2A-B.2	8.909108905
3A-B	8.451241661
5A-B.2	8.824098003
7A-B	9.01632723
9C-D	9.070708081
10A-B.1	9.494875436
10A-B.2	9.200718948
10A-B.3	10.3856179

10A-B.4	9.20718948
10G-H	9.325220919
12A-B	9.521937869
XY	9.254535535

Tabell 6: Resultater – Bøyeasthet (f_m)

5.2 Densitet og fukt

5.2.1 Densitet og fasthetsklasse

Tabell 7 viser densiteten av trevirkene ved spesifisert fuktinnhold av endene, samt gjennomsnittsdensitet av trevirket, av de som ble tatt prøver fra begge ender.

Emne, trevirke	Emne, ende	Densitet, spesifisert fuktinnhold (kg/m^3)	Gjennomsnittsdensitet, spesifisert fuktinnhold (kg/m^3)
10A-B.1	10A.1	512,4258	459,8140304
	10B.1	407,2023	
10A-B.2	10A.2	501,4730	452,458326
	10B.2	403,4437	
10A-B.3	10A.3	494,3224	443,6892344
	10B.3	393,0560	
10A-B.4	10A.4	476,1933	443,6589679
	10B.4	411,1246	
10G-H	10G	446,0649	479,1812907
	10H	512,2977	
3A-B	3A	518,5668	Kun en side testet
9C-D	9C	456,4288	Kun en side testet
2A-B.2	2A.2	430,6382	Kun en side testet
5A-B.2	5A.2	512,4901	Kun en side testet
7A-B	7A	444,4066	Kun en side testet
12A-B	12A	613,5452	Kun en side testet
2A-B.1	2A.1	448,1096	Kun en side testet
X-Y	XI	414,7889	Kun en side testet

Tabell 7: Beregnet densitet for ende og gjennomsnitt ved spesifisert fuktinnhold

Tabell 8 viser densitet for endene og gjennomsnittet for trevirket i absolutt tørr tilstand, samt korresponderende fasthetsklasse.

Emne, trevirke	Emne, ende	Densitet, absolutt tørr tilstand (kg/m ³)	Gjennomsnittsdensitet, absolutt tørr tilstand (kg/m ³)	Korresponderende fasthetsklasse
10A-B.1	10A.1	469,9921	418,4232384	C22
	10B.1	366,8544		
10A-B.2	10A.2	477,0558	427,6358428	C24
	10B.2	378,2159		
10A-B.3	10A.3	455,9331	407,1383373	C20
	10B.3	358,3436		
10A-B.4	10A.4	456,2314	420,8538213	C24
	10B.4	385,4763		
10G-H	10G	417,7219	439,6349647	C27
	10H	461,5480		
3A-B	3A	505,5284	Kun en side testet	C45
9C-D	9C	452,6931	Kun en side testet	C27
2A-B.2	2A.2	421,6332	Kun en side testet	C24
5A-B.2	5A.2	474,8768	Kun en side testet	C35
7A-B	7A	407,2890	Kun en side testet	C20
12A-B	12A	550,1798	Kun en side testet	C50
2A-B.1	2A.1	426,8305	Kun en side testet	C24
X-Y	X1	378,9222	Kun en side testet	C16

Tabell 8: Beregnet densitet av ende og gjennomsnitt ved absolutt tørr tilstand og korresponderende fasthetsklasse

Tabell 9 viser absoluttverdien av endringen i densitet i høyderetningen av treet samt den prosentvise endringen i densitet mellom endene.

Emne	Densitet, absolutt tørr tilstand (kg/m ³)	Endring i densitet fra A til B og G til H (kg/m ³)	Endring i densitet fra A til B og G til H (%)
10A.1	469.9921	103.1376	21.94 %
10B.1	366.8544		
10A.2	477.0558	98.8399	20.72 %
10B.2	378.2159		
10A.3	455.9331	97.5895	21.40 %
10B.3	358.3436		
10A.4	465.2314	70.7551	15.51 %
10B.4	385.4763		
10G	417.7219	43.8261	10.49 %
10H	461.5480		

Tabell 9: Beregnet endring av densitet og prosentvis endring

5.2.2 Fuktinhold

Tabell 10 viser emnenes fuktinnhold ved tidspunktet for firepunkts-bøyetest og ved tørking av små defektfrie prøver. Den første kolonnen viser fuktinnholdet funnet ved tørke-veie-metoden, og de to neste kolonnene viser fuktinnhold målt med fukthammer. For fukthammermålingene er resultatene presentert som gjennomsnitt av målinger gjort i topp, midt og bunn av trevirket.

Emne	Fuktinnhold (tørking)	Gjennomsnitt fuktinnhold, overflate (fukthammer)	Gjennomsnitt fuktinnhold, innvendig (fukthammer)
2A-B.1	9.13 %	13.0%	21.8%
2A-B.2	9.18 %	12.1%	22.6%
3A-B	9.28 %	10.0%	27.1%
5A-B.2	13.46 %	14.9%	26.9%
7A-B	11.18 %	12.5%	32.0%
9C-D	10.25 %	14.3%	26.5%
10A.1	11.44 %	12.8%	25.6%
10B.1	14.36 %		
10A.2	12.21 %	15.8%	26.8%
10B.2	13.17 %		
10A.3	12.66 %	14.6%	24.8%
10B.3	13.28 %		
10A.4	10.15 %	13.9%	23.1%
10B.4	12.45 %		
10G	11.61 %	14.3%	25.4%
10H	21.45 %		
12A-B	15.76 %	12.7%	29.8%
XY	11.24 %	11.5%	25.3%

Tabell 10: Fuktinhold funnet ved tørking og ved bruk av fukthammer

6 Diskusjon og analyse

6.1 Produksjon av materiale

Det var på forhånd og underveis et stort fokus å utføre hogst- og produksjonsfasen på den «gamle og tradisjonelle måten» der det ble hogget med plukkhogstmetode og saget for å bevare mest mulig av kjerneveden hos furu for å oppnå en naturlig impregnering av virket. Hogst og produksjonsfasen er derimot ikke spesielt godt dokumentert og det er noe usikkerheter om det ble utført som først planlagt eller hvilke eventuelle endringer eller forutsetninger det ble gjort underveis. Hogst og lagring av tømmeret fant sted før oppstart av denne oppgaven, og dermed var det ingen mulighet for gruppe medlemmene å ta del i eller undersøke og dokumentere hogst- og lagringsfasen. Det kan dermed ikke fastslås nøyaktig hvilke kriterier som ble satt for trærne som skulle hogges, og hvorfor akkurat disse kriteriene ble satt annet enn det som ble nevnt i 3 Case. Gruppen kan heller ikke si noe om erfaringen eller kunnskapen til hogst-gruppen i forhold til plukkhogst som hogstmetode. Det ble blant annet nevnt av oppdragsgiver at det var en begrenset mengde trær å velge mellom knyttet til mengden trær som passet kriteriene og forhåndsbestemte krav.

Ved bedre kapasitet og tid kunne gruppen undersøkt og funnet mer ut av denne fasen, gjennom for eksempel intervjuer med samtlige som var tilstede under hogst og produksjon, samt grundigere undersøkelse av tømmeret før saging og områdeopprinnelsen. På den måten avdekke hvorvidt trevirket imøtekommer tiltenkt bruk og går innenfor tradisjonell plukkhogstmetode.

Gruppen ble med på en av dagene hvor saging av tømmeret fant sted 8. - 9. april, for å kunne observere og dokumentere med bilder av tømmeret før saging og under saging. Under observasjon av tømmeret ble det bemerket at de hadde vært lagret uten tak utendørs og tilsynelatende manglete lufting under og mellom tømmerene. Det var snøsmeltingsperiode og tømmeret var lagret i fuktige omgivelser, både i form av vann og snø. To av trevirkene fra partiet som ble undersøkt hadde råteskader som indikerer på feil lagring og tørking med tanke på fukt. Samtidig som de sto vått og halvdekket av snø, sto solen direkte på tømmeret, som kan være årsaken til tørkesprekkene på trevirkene (se *Bilde 1*, Vedlegg 1, 10 og 11).

Når bygget skal bygges er det som nevnt i 3 Case tenkt å bruke eldre tradisjonelle byggeteknikker. Det er usikkerheter knyttet til planleggingen og dermed er det også en viss usikkerhet knyttet til prosjektets og materialenes fremtid, med hensyn til videre undersøkelser i eventuelle kommende forskning eller studier.

Grunnet feil markeringer som nevnt i 3 Case og noe dårlig oversikt over materialene under hogst- og produksjonsfasen har det gjort at det har vært usikkerheter på hvilke emner som er furu og gran, samt opprinnelse av trær hos fem av emnene (X-Y.1, 10A-B.1 – 10A-B.4). Dermed kan resultater hos flere av testene utført i oppgaven være unøyaktige eller feil. Dette gjelder fuktmåling med fukthammer og resultater av visuell styrkesortering, som diskuteres mer detaljert i kapittel 6.2 og 6.3.

Grunnet forsinket saging og levering av materialene, ble igangsettelsen av oppmåling, markering og notering gjort umiddelbart ved ankomst 16. april. Start av visuell styrkesortering ble deretter også gjort ved ankomstdag. De andre testene ble gjort fortløpende i en tidsperiode på to uker, noe som førte til at trevirket ikke fikk ideell innendørs tørketid i forkant av testene. Grunnet de bemerkede faktorene knyttet feilproduksjon, som for eksempel ikke tilstrekkelig lagring eller tørking, ble det avgjort som nevnt i avgrensning å inkludere menneskeskapte styrkenedsettende faktorer og belyse de. Dette selv om det i utgangspunktet kun var tiltenkt å undersøke virkets styrke og egenskaper. Til tross for det overnevnte er det likevel opplevd å ha fått gjort et grundig arbeid og oppnådd et godt prosjekt.

6.2 Visuell styrkesortering

Visuell styrkesortering ble utført av gruppemedlemmene, med bistand fra Treteknisk gjennom e-post og digitale møter ved spørsmål og tvil. Gruppemedlemmene har ikke hatt kurs eller tatt eksamen for å kunne bedømme trevirke med visuell styrkesortering, og kan dermed ikke utelukke feilbedømmelser i resultatet. Likevel er det gjort et nøye arbeid med god dokumentasjon, hvor tvil og usikkerheter ble avklart med Treteknisk, og standarden NS INSTA 142 er fulgt nøye gjennom hele utførelsen.

Tørkesprekker, deformasjon, fukt eller andre styrkenedsettende faktorer oppstått som et resultat av feilproduksjon, feil lagring og tørking ble som nevnt i metode ikke vurdert eller bedømt i stor grad under visuell styrkesortering etter anbefaling fra Treteknisk. Dette fordi det

er grunnet feil produksjon og vil ikke kunne si noe om det opprinnelige potensial av tømmeret og dens egenskaper ved en eventuell riktig produksjon. Deformasjon ble ikke vurdert grundig, da det heller ikke var antydning til noe deformasjon av betydelig grad, og ved eventuell deformasjon kan det knyttes til feilproduksjon. Fuktnivå ble heller ikke målt eller vurdert under visuell styrkesortering. Dette fordi styrkesorteringen ble gjort på samme tidspunkt som ankomst av trevirket og plassert innendørs. Gruppen kom frem til at fuktnivået ville endres som tiden gikk, i tillegg til det høye fuktnivået er med stor sannsynlighet grunnet feil lagring og produksjon. Det ble derimot notert og registrert for en egen vurdering knyttet til menneskelige påvirkningsfaktorer til hogst og trevirke.

Dersom alt av tørkesprekker og fuktinnhold hadde vært bedømt, ville sorteringsgraden på trevirkene blitt svært lav, der den opprinnelige og den potensielle kvaliteten av virket ville ikke blitt avdekket. Konsekvensene av produksjonsfeil ble som nevnt likevel notert og registrert, men som overnevnt, ikke vurdert som en del av visuell styrkesortering. Det er mulig at tørkesprekkene hadde en effekt ved firepunkts bøyetest dersom sprekke hadde betydelig nok størrelse, dybde og eller passering. Av den grunn er det muligheter for at resultater av visuell styrkesortering ikke stemmer helt overens med resultatet av firepunkts bøyetest. I ettertid er det blitt bemerket at det kunne vært strategisk å måle og registrert sprekke nøyere for å ha mulighet for undersøkelse av virkningene på kvaliteten og styrken av virket i større grad.

Flere av trevirkene hadde en vesentlig virkesfeil eller styrkenedsettende faktor i enden, som for eksempel gankvist, råte eller bark-vaner. Gruppen vurderte virket som hel lengde inkludert virkesfeilen, og deretter vurderte virket som om enden med virkesfeilen ble kappet bort. Det ble også markert og målt plasseringen av en eventuell kapp av lengden. Etter møte med Treteknisk ble det bekreftet at det var den riktige metoden å sortere virket. Det var flere trevirker med usikkerhet på hvor kappet skulle markeres, og om det behøvde å kappes i det hele tatt, og det sees derfor ikke bort ifra mulige feilvurderinger.

Det behøvdes en rissenål for å måle fiberhellingen. Det var ikke noe gruppen hadde tilgjengelig i laboratoriet, og lagde derfor en rissenål med håndtak og en smal spiss skru (se Vedlegg 8). Dette opplevdes som et godt alternativ for å finne fiberhellingen og fikk et realistisk mål. Det er ikke brukt en tradisjonell rissenål ment for måling av fiberhelling og derfor kan ikke helt riktig utførelse eller nøyaktig mål garanteres.

Som tidligere nevnt har det vært noe dårlig dokumentasjon og feil markering av trevirkene under saging av tømmerene og derfor også usikkerhet rundt hva som er furu og gran. Noen av trevirkene hadde mørk kjerne og ble antatt furu, men er ikke bekreftet. Dersom det likevel ikke er furu, vil dette tyde på en mulig virkesfeil i form av for eksempel fukt eller fuktskade og dermed feil klassering.

Det er et utvalg av emner som var mer krevende å bedømme grunnet usikkerhet. Med tanke på sikkerhet ved bruk som konstruksjonsvirke ble noen av emnene enten vraket, nedgradert eller kappet etter egenvurdering og veiledning av Treteknisk:

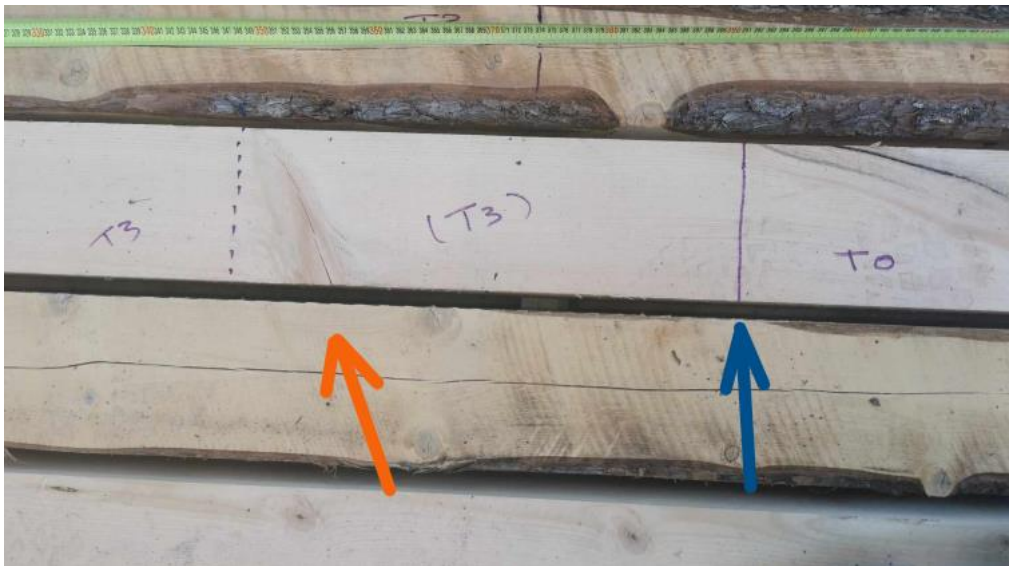
- **3A-B** har en misfarging hvor det var stor usikkerhet var blåved og brentved eller råte, se *Bilde 15*. Det er avgjørende å vite eksakt hva det er for å kunne klassifisere riktig, da de overnevnte tilstandene påvirker styrken svært forskjellig. Etter samtale med Treteknisk, som også var noe usikker, kom det frem til at ved en så stor usikkerhet er det bedre å klassifisere ned, eller i dette tilfellet vrakes.



Bilde 15 12: Råte og brentved av 3A-B, foto: Silje Hoem Johansen

- **10A-B.2** har en stor hornkvist vist ved oransje pil ved *Bilde 15*. I tillegg er det en gankvist av både stor dimensjon og lengde (over 40 cm). Etter standarden er denne gankvisten kun godkjent ved T0 gradering og derfor satt en kapp-plassering for å heve graderingen. Hornkvist er derimot tillatt, innenfor en viss dimensjon på kantsiden (i

bredderetningen) for det aktuelle sorteringsklassen. I dette tilfellet er virket teoretisk sett godkjent som T3, dersom virket blir kappet ved den heltrukkede linjen ved blå pil som vist på *Bilde 16*. Tvilen er knyttet til den kraftige hornkvisten, og dens tykkelse og lengde på flatsiden. Godkjenning, nedgradering eller kapp ved den stiplede linjen (ved oransje pil) ble vurdert. Kontaktperson fra Treteknisk var også svært usikker om riktig avgjørelse, og ble dermed avgjort av gruppen å følge standarden nøyaktig og derfor godkjenner virket som T3 (ved kapp ved den heltrukkede linjen).



Bilde 16: Hornkvist og gankvist av 10A-B. 2, foto: Silje Hoem Johansen



Bilde 17: Hornkvist av 10A-B, foto: Silje Hoem Johansen

- **5A-B.2** emnet hadde tennar som vises på *Bilde 18* og *Bilde 19*. Det var ved første sortering usikkerhet på om det faktisk var tennar, da det var vanskelig å se fargeforskjellen vist på *Bilde 18* og emnet ble dermed i første omgang godkjent som T3. Tennarveden viste seg tydeligere ved kapp for uttak av prøver til densitet-test (*Bilde 19*) og ble derfor vurdert på nytt. Etter standarden er tennar godkjent opp til 10% av tverrsnittet for T3-T1 og 20% for T0. Da det ikke var spesifisert hva som skal måles som en del av tennar var det usikkerhet knyttet til hvilken gradering som skulle settes. Da det var ikke noe tegn til tennar i andre enden går ikke tennarveden gjennom hele lengden. I følge treteknisk skal det mørkere området måles. Det er noe ujevnheter med farge, men det er valgt å måle det mørkeste sammenhengende området som kom på et areal under 10%. Dermed vil emnet beholde T3 graderingen. Om det viser seg at tennarveden har blitt undervurdert, kan det ha blitt gitt en høyere gradering enn virkets faktiske riktig gradering. Dette vil imidlertid ikke kunne avklares før virket har fått tilstrekkelig innendørs tørketid, slik at krympingen av tennarveden kan vurderes i forhold til resten av virket.



Bilde 18: Tennar for prøveuttaking av ende 5A.2, foto: Silje Hoem Johansen



Bilde 19: Tydeligere tennar etter kapp for prøveuttak av 5A.2, foto: Silje Hoem Johansen

6.3 Fukt og densitetsprøver

Fukt og densitetsprøver ble tatt ut etter tilhørende standarder som beskrevet i kapittel 4 *Metode*. Etter standarden skal trevirket tørkes i et rom med $20 \pm 2^\circ\text{C}$ og relativ fuktighet på $65 \pm 5\%$. Materialet hadde i tidsrommet ved prøveuttak vært lagret mellom 1-2 uker i bygg-laboratoriet som har temperatur og omgivelser kontrollert. Det er ikke bekreftet at laboratoriet på lagringstidsrommet hadde de overnevnte kravene under tidsrommet for testing, men har blitt målt i ettertid på 21°C og 37% relativ fuktighet. I tillegg var det ombygging i bygget, hvor porten i den forbindelse var åpen over lengre tid og kan derfor ha påvirket temperaturen og luftfuktigheten. Det er ukjent hvilken betydning dette har hatt for trevirket, men utelukker ikke påvirkning av materialene og dermed resultatene av testene.

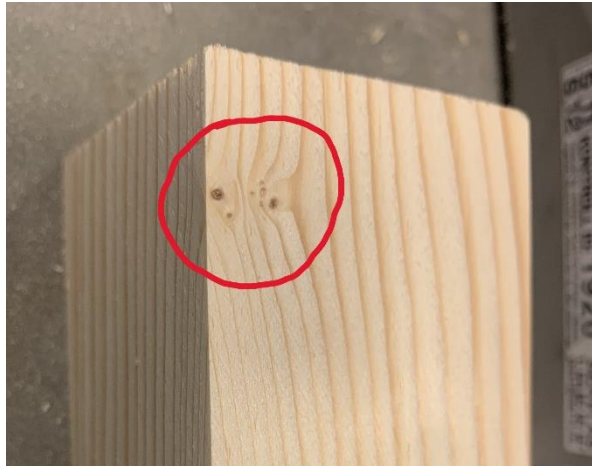
Etter standarden skal prøvene være defektfrie, uten sprekker og kvist. Mest mulig av lengden skulle derimot bevares etter krav fra veileder, og det var derfor nødvendig å hente ut prøver lengst ut mot endene. Av den grunn var det utfordrende å hente ut prøver helt uten kvister og sprekker, med tanke på mengden med tørkesprekker på trevirkene (se Vedlegg 1). Ingen av prøvene hadde tydelig synlig kvist, men noen prøver hadde antydning til det, se *Bilde 22*. Flesteparten av prøvene hadde små tørkesprekker med liten dybde (ca. ≤ 3 mm) og bredde (≤ 1 mm), som vist på *Bilde 20*. En prøve hadde en kvistlomme som ble tømt under tørking, som vist på *Bilde 21*. Det ble tatt bilder før og etter tørking for å kontrollere eventuelle påvirkninger av sprekken og eller kvist. Det sees ikke vekk i fra at resultatet av prøvene kan avvike noe fra den faktiske densiteten, da prøvene ikke var helt feilfrie.



Bilde 20: Eksempler på sprekker fra prøver, foto: Kristin Nymark Rasmussen



Bilde 21: Prøve med kvaelomme,
foto: Kristin Nymark Rasmussen



Bilde 22: Prøve med små til kvist, Bilde 22: Prøve med små
til kvist,
foto: Kristin Nymark Rasmussen

Prøvene hadde ulike dimensjoner hvor *foto: Kristin Nymark Rasmussen*
den minste hadde et volum på ca. 24 cm^3 og den største på ca. 260 cm^3 . Det eneste som blir nevnt i standarden om dimensjonen er at prøvene skal være minst $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}$. Det sto ikke spesifisert om prøvene måtte ha like mål på høyde, bredde og dybde eller at alle prøvene måtte være lik hverandre. Uttakelsen av prøvene ble derfor gjort etter det som passet best for å unngå kvist og sprekker, men samtidig spare på lengden av trevirket. Det ble sett i ettertid at de minste prøvene var mer sensitiv til vektendring prosentvis enn større prøver, og derfor vil man oppnå et mer nøyaktig resultat for sammenligning ved å ha lik dimensjon på alle prøvene.

Ved vektsjekk under tørking ble det oppdaget ulike tørkingstempo av prøvene. Noen prøver ble derfor lengre i tørkeskapet enn nødvendig, da det ble bestemt på forhånd at uttak og mål av vekt og dimensjon for beregning skulle skje ved samme tidspunkt for alle prøver. Ved første sjekk ble kun tre prøver veid, men etter observasjonen av ulik tørkehastighet ble flere prøver sjekket videre. Det ble observert at noen av prøvene økte i vekt mellom sjekk nr. 3 og 4 (etter 2.5 døgn tørking), og det ble dermed bestemt å sjekke ytterligere flere prøver videre. Enda flere prøver økte i vekt videre, og ved uttakelse av prøvene hadde enda ytterligere prøver økt i vekt av ukjent årsak. De aller fleste hadde økt vekt med mer enn 0.2%, som er grensen for vektendring ved uttak og mål for beregning. Årsaken til valget var stadig vektøkning og bekymring for at tørkeskapet ikke lengre fungerte optimalt, i tillegg til lengre tørketid enn tiltenkt (4 døgn).

Prøvene ble veid ved uttakelse fra tørkeskapet, og i tillegg etter nedkjøling, dagen etter uttakelse i en eksikkator. Det ble igjen observert at vekten hadde økt hos alle prøvene med 0.01 – 0.64 % fra uttakelsestidspunktet. Dette kan indikere at eksikkatoren og/eller det tilhørende fuktabsorberende materialet ikke var optimal for prøvene eller tidsrommet for nedkjølingen.

Det ble i ettertid vurdert om det mest optimale hadde vært å sjekke alle prøvene ved hvert intervall, og tatt ut og målt prøvene etter hvert som de var klare. Det ble også oppdaget i ettertid at det ville vært hensiktsmessig å la prøvene kjøles ned i en kortere tidsperiode enn til dagen etter. Dette fordi det ikke var garanti for at eksikkatoren med silikagel var optimalt generelt eller for så langt tidsrom.

Densitet og fuktnivå ble beregnet med siste målte verdier etter nedkjøling, men det er i tillegg beregnet med minste vektverdi målt, for å undersøke forskjell og eventuell betydning av vektøkningen. Ved beregning med laveste vektverdi målt ble det en forskjell av densitet mellom 0.001% - 1.68% og mellom 0.02% - 0.95% for beregnet fuktnivå. Den korresponderende fasthetsklassen ble derimot ikke endret av vektforskjellen. Som nevnt over ble ikke alle prøvene målt mellom hver sjekk, og dermed er det mulighet for at vekten kan ha vært enda lavere og utgjort en større forskjell. Noen av prøvene var i grensen for nedgradering, og ved ytterligere tørking og vektnedgang kan de potensielt ha en lavere fasthetsklasse enn satt.

Ved beregning av densitet og fukt, ble det oppdaget at trevirket 10G-H hadde meget høy fuktighet sammenlignet med de andre virkene. Særlig enden 10H hadde svært høy fuktighet, hvor den var nesten dobbelt så høy i forhold til andre enden, ifølge beregningene. Ved beregning av densitet vises det også en høyere densitet ved ende H enn ved G, noe som er uventet da det vanligvis er lavere densitet i høyden enn ved bunn. Dette kan indikere på at det ikke har vært tilstrekkelig tørking av prøven og viser trolig høyere densitet enn faktisk densitet. Da vekten av 10G og 10H ikke ble sjekket før sjekk nr. 5 var det ikke valgmulighet for vurdering av oppfølging av vektutviklingen eller en eventuell lengre tørketid.

6.4 Firepunkts-bøyetest

Etter standarden for firepunkts-bøyetest, skal trevirket som ved densitet-test, være oppbevart og tørket til en konstant masse i en temperatur på $20 \pm 2^\circ\text{C}$ og $65 \pm 5\%$ relativ fuktighet. Som nevnt over er dette ikke kontrollert og kan ha en ukjent betydning for resultatet av bøyetesten. Fuktighetsnivået av trevirkene ble målt med fukthammer ved testtidspunktet da det var usikkerhet rundt fuktnivået, pga. ikke ideell utendørs tørking, samt mangel på tid for innendørs tørking. Alle trevirkene hadde et fuktighetsnivå på over 20%, og noen hadde en fuktighet nærmere 30%. Dette er en indikasjon på for liten tørketid innendørs eller feil tørkemetode, og fuktnivået kan ha påvirket resultatene av bøyetesten.

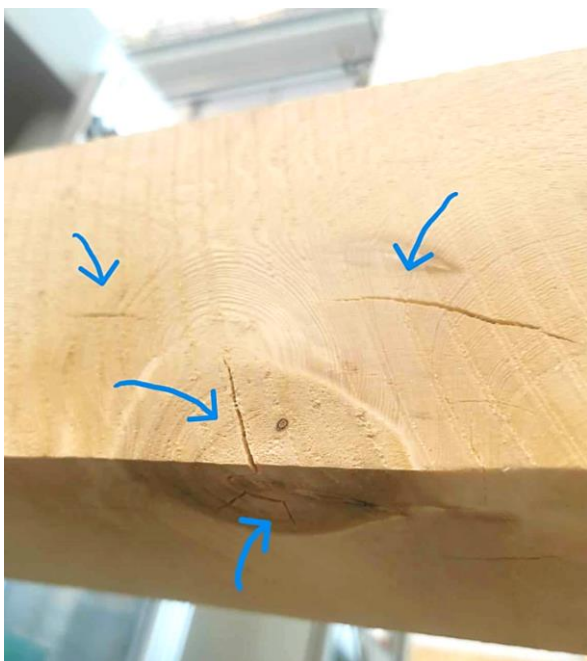
Ved fuktmåling med bruk av fukthammer var det innstillinger på hvilke tresorter som skulle måles. Innstillingene utgjorde en forskjell med opp til ca. 10 prosentpoeng i målingene av de trevirkene med usikkerhet av tresort. Hos de virkene kan det ha blitt satt feil fuktnivå i resultat. I tråd med fukthammerens bruksanvisning er det nødvendig å kalibrere med ett års mellomrom. Det ble fortalt av labansvarlig at den skal ha vært kalibrert innenfor det tidsrommet, men er ikke noe gruppen kan garantere og kan dermed potensielt ha blitt gjort feil måling av fukt.

Opplagrene og belastningspunktene ble plassert etter gjennomsnittshøyden av tverrsnittet mellom alle trevirkene (ca. 130 mm for 5x5 og 105 mm for 3x4), som nevnt i kapittel 4 *Metode*. Dimensjonen av trevirket har noen ujevnheter, i tillegg til forskjeller mellom de ulike trevirkene. Dette gjør at plasseringen på opplagrene og belastningspunktene ikke nødvendigvis er helt korrekt og kan mulig påvirke resultatene. Dimensjonsforskjellene er innenfor 5 mm, og påvirkningen av resultatene er dermed betraktet som liten.

Nedbøyning ble målt av nedbøyningsmaskinen og i tillegg av en uavhengig sensor plassert i senter av emnets lengde. Dette fordi etter standarden skal det brukes gjennomsnittlig måling av nedbøyning ovenfra med pressa (inkludert eventuelle deformasjoner knyttet til fiberknusning) og fra undersiden med den uavhengige sensoren. Det ble oppdaget underveis at sensoren ikke sto helt riktig plassert, hvor sensoren ikke berørte treoverflaten fra start. Etter den observasjonen ble sensoren sjekket hver gang før nedbøyningen startet. Hvor mange emner som ble testet med feilplassert sensor er noe usikkert. På emnene det gjelder kan dette vise en mindre nedbøyning enn den faktiske nedbøyningen og dermed påvirke resultat. Da

maskinen også hadde data for nedbøyning, ble dataene fra den og fra den uavhengige sensoren sammenlignet. Forskjellene av resultatene ble da belyst og de eventuelle trevirkene med feilplassert sensor ble forsøkt å spore opp. Det var kun én av virkene (10A-B.2) som hadde tydelig feilplassering av sensor, hvor forskjellen på nedbøyningsdata fra presse og sensor var på over 3 mm. Forskjellen på data fra de andre virkene var for de fleste under 1 mm og opp til 1.7 mm.

Første trevirket som ble testet (10A-B.3) ble påført feil kraft. Grunnet miskommunikasjon ble det innstilt F_{\max} for C24 istedenfor $0.4F_{\max}$. Da det begynte å høre knirking og start på oppsprekking ble maskinen stoppet på omtrent $0.5F_{\max}$, og feilen ble innsett umiddelbart. Det ble oppdaget at en kvist av en større størrelse omtrent på midten av trevirket og en annen plassert mellom opplager og presse sprakk opp, se *Bilde 23* og *24*. Dette indikerer på at kvist har sannsynligvis en større negativ påvirkning på styrken enn for eksempel tørkesprekker eller andre styrkenedsettende faktorer som har blitt funnet.



Bilde 23: Sprekker i og rundt kvist etter nedbøyning av 10A-B.3 mellom opplager og presse, foto: Silje Hoem Johansen



Bilde 24: Sprekker i og rundt kvist etter nedbøyning av 10A-B.3 midten av trevirke, foto: Silje Hoem Johansen

6.5 Sammenheng mellom egenskapene

Vi ser en stor variasjon innad i partiet i både densitet, fuktinnhold og E-modul. Resultatene for densitetsprøvene varierer fra laveste verdi på 358 kg/m^3 til høyeste verdi på 550 kg/m^3 i absolutt tørr tilstand. Densiteten påvirkes av flere faktorer, men den største er fiberforstyrrelser i treets lengderetning— ofte i form av kvist. Det er en klar sammenheng mellom emnenes densitet og hvorvidt de ble nedgradert under visuell styrkesortering for andel og størrelse av kvist gjennom emnet. Densiteten er også vanligvis høyere hos furu enn gran, og vil derfor forklare hvorfor 12A-B har vesentlig høyere densitet enn resten av partiet med grantrær.

I samtlige emner utenom 10G-H synker densiteten i treets høyde, med omtrent 15-20 %. 10A-B.3 er det emnet med lavest gjennomsnittlig densitet av de fem emnene som ble testet fra begge ender. Det er også det emnet hvor den laveste densitetsverdien er funnet i ende B. Under visuell styrkesortering ble emnet nedgradert til T2 grunnet flere kvister som ikke fyller kravet til T3 samt en kvistgruppe. En stor andel kvist vil føre til fiberforstyrrelser i treet, som er en stor styrkenedsettende faktor. Dette bekreftes igjen av E-modulen som ble funnet til å være 5517 N/mm^2 for $G=650 \text{ N/mm}^2$, som er i det lavere sjiktet. 10A-B.3 er det emnet hvor lasten som ble påført var omtrent 10 kN før nedbøyningen ble avbrutt grunnet miskommunikasjon med labansvarlig om verdien for F_{\max} og $0.4F_{\max}$. Beregningene gjort med $0.4F_{\max}$ og tilhørende nedbøyning ved $0.4F_{\max}$, og antas derfor å være riktige. Eneste forskjellen vil være tiden brukt fra 0 til $0.4F_{\max}$, men kan likevel påvirke resultatene. Bøyefastheten for 10A-B.3 er den høyeste av partiet, på omtrent 10.39 N/mm^2 , og de resterende er nesten utelukkende omtrent lik 9.00 N/mm^2 , og årsaken kan være feilen forklart over. Videre ble emnet under visuell styrkesortering gradert til T2 grunnet kvist av vesentlig størrelse. Det at nedbøyningsmaskinen var innstilt på F_{\max} istedenfor 40% av F_{\max} ble oppdaget ved at det oppstod sprekkelyer, hvor de større kvistene omtrent midt mellom opplager og nedpressingspunkt var der spekkingen startet.

Videre er også fuktinnholdet svært varierende, både i prøvene som ble tørket og verdiene målt med fukthammer på testtidspunktet for firepunkts-bøyetest. Fuktinnholdet målt innvendig av fukthammer ligger på 22-32 % for samtlige emner. Overflatemålingene viser også et stort spenn hvor verdiene ligger mellom 11.5% og 17.1%. Resultatene fra tørkingen viser at emnet

med lavest fuktinnhold var 2A-B.1 med 9.13%, og emnet med høyest verdi var 10H på 21.45%.

Den globale E-modulen for trevirket varierer også stort med verdier fra 3789 N/mm² til 30630 N/mm² for G=650 N/mm². Faktorer som har påvirket E-modulen i størst grad er fuktinnholdet og dimensjonen til trevirket. Emnene med høyest E-modul på omtrent 30 000 N/mm² er de tre av dimensjonen 3"x4", og fuktigheten er lavest på omtrent 9%. Da 3"x4"-emnene er av mindre dimensjon og helt uten bark er det naturlig at de tørker raskere enn 5"x5", og dermed har en høy E-modul. Fuktmålingene viser likevel en høy fuktighet for 3"x4"-emnene, på 21.8-27.1 % innvendig, 12.1-14.9 % overflate og 9.13-9.28 % funnet ved tørking. Tørking anslås å være mer nøyaktig enn måling med fukthammer, og siden de tre emnenes fuktighet funnet ved tørking er innenfor 0.15% av hverandre er det rimelig å anta at dette stemmer.

Av 5"x5"-emnene har samtlige emner utenom 10A-B.3, 10A-B.4, 5A-B.2, XY og 9C-D en normal til høy E-modul med verdier innenfor 7200-12000 N/mm². De overnevnte har lavere E-modul på 3700-6000 N/mm², og har igjen en sammenheng med det høye fuktinnholdet målt på testtidspunktet, hvor alle har overflatefukt >15%, og innvendig fukt >25%. Fuktinnholdet funnet ved tørking er nok en gang trolig mer nøyaktig enn verdiene funnet med fukthammer, da variasjonen mellom emnene er lavere. Hos 5"x5"-emnene varierer fuktinnholdet mellom 10.25% og 14.36%, og er dermed et bevis i seg selv at endene har et fuktinnhold høyere enn for 3"x4"-emnene, og trolig er fuktinnholdet vesentlig høyere nærmere midten av emnet. 5A-B.2 er det emnet med laveste E-modul, men densiteten og bøyefastheten er normal. Under visuell styrkesortering ble det lagt merke til tennar i tverrsnittet i A, men det ble vurdert at andelen tennar ikke var stor nok for å nedgradere ytterligere. Tennarved har lavere styrkeegenskaper og krymper fortere enn normalved, og kan derfor ha påvirket resultatet av E-modulen. Densitetsprøven hentet fra 5A ble tatt fra den delen av tverrsnittet som hadde mindre tennarved, og er trolig grunnen til at det ikke har påvirket resultatet for densitet i virket, da denne er beregnet til å være 475 kg/m³.

Under visuell styrkesortering ble det lagt merke til soppdannelse i 10H, som kommer av at enden er fuktig og har ikke blitt tilstrekkelig beskyttet under lagring. Det høye fuktinnholdet i ende 10H ikke har hatt stor påvirkning på densiteten, da densiteten i 10H ble beregnet til å være 462 kg/m³ i absolutt tørr tilstand.

Som nevnt i 3 Case ble materialene hogget høsten 2023, og lå under snø frem til april 2024. Da virket har ligget i våte omgivelser er det naturlig å anta at dette har hatt en innvirkning på hvor mye fuktighet de har tatt opp under lagring. Likevel er det vanlig at endene tørker raskere enn resten av virket da det er flere flater som er eksponert til luften rundt – og dermed må det høye fuktinnholdet i 10H merkes som et avvik. Grunnet oppgavens tidsramme ble ikke dette videre undersøkt. I den andre enden av samme virke (10G) er densiteten i absolutt tørr tilstand lik 418 kg/m^3 . 10G-H er det emnet som har lavest endring i densitet fra bunn til topp, på omtrent 10%, sammenlignet med omtrent 15-20% hos de fire andre emnene hvor densiteten ble beregnet i begge ender. 10G-H er også det emnet fra det høyeste punktet i et tre i partiet som ble undersøkt, da de er markert som G og H. Da gruppen ikke har hatt den faktiske 10A-B tilgjengelig for testing er det ikke mulig å sammenligne med emnet som er nærmest roten for å si noe om hvorfor densitetsforskjellen er som den er.

I forhold til dataenes reliabilitet er de for denne oppgavens størrelse og omfang nøyaktige nok til å svare på problemstillingen. Feil, unøyaktighet og usikkerhet i utførelsen kan likevel ha påvirket nøyaktigheten av dataene, spesielt i nedbøyningen hvor sensoren ikke var plassert inntil emnet og for densitetsprøvene med defekter. Når det kommer til resultatenes validitet er samtlige data gyldige, og kan dermed benyttes til å svare på problemstillingen. Likevel kan validiteten økes ved å benytte andre metoder. Dette diskuteres videre i kapittel 6.6

Metodevalg.

6.6 Metodevalg

Valg av metode ble bestemt på forhånd før mottakelse av materiale og observasjonen av de betydelige menneskeskapte påvirkningene av materialene. Av den grunn, i tillegg til forsinkelse av materiale har det ikke vært kapasitet eller tid til å bruke systematiske eller standardiserte metoder for å avdekke de styrkenedsettende faktorene og skillet mellom de menneskeskapte og naturlige i stor grad. Det er derimot likevel gjort løpende dokumentasjon ved form av bilder og notater for å gjøre en vurdering av faktorene av det bestemte partiet, som nevnt i metode og avgrensning. Dette da faktorene var av betydelig grad og kunne potensielt påvirke resultatene av testene. Dette kan gjøre resultatene av vurderingene av de menneskeskapte styrkenedsettende faktorene noe manglede og eller noe generelle. Ved en systematisk og standardisert metode for avdekking av styrkenedsettende faktorer og skillet

mellom de naturlige og de menneskeskapte, kunne man også ha undersøkt i hvor stor grad dette har påvirket resultatene av andre tester og dermed styrken, samt svart på problemstillingen bedre.

I lys av plukkhogst og menneskeskapte styrkenedsettende faktorer kunne det vært strategisk å gjøre en mer omfattende litteraturstudie og gjort intervjuer med personer med mye kunnskap og lang erfaring innenfor feltet. Dette for å undersøke tidligere erfaringer og undersøkelser innenfor det overnevnte og satt det opp mot egne funn og erfaringer. På den måten undersøke hvorvidt funnene er typiske og hva årsaken til de er. Dermed også gjøre en grundig undersøkelse av forebyggende tiltak til de menneskeskapte styrkenedsettende faktorene.

Det var noe manglete dokumentasjon av hogst -og produksjonsfasen og i hvor stor grad hogsten faktisk er gjort etter plukkhogstmetoden, samt om materialene imøtekommer tiltenkt bruk. Det kunne derfor ha vært strategisk å teste og sammenligne trevirkene med eldre brukt plukkhogstvirke med samme eller lignende bruk. Dette for å avdekke eventuelle kvalitet og styrkeforskjeller, og årsakene til det. Med tanke på ombruk av eldre trevirke gjort med eldre hogstmetode og dens kvalitet og styrkesortering, ville det også vært mer strategisk å teste og undersøke materiale som faktisk er av eldre plukkhogst. Da det ikke var tilgjengelighet for eldre brukt trevirke og tidsbegrensning, ble ikke dette mulig å utføre.

Det ble fulgt som beskrevet i metode en standard for densitet og fukt test ved tørking av små feilfrie prøver, etter ønske fra veileder. Det har blitt funnet to standarder (NS EN 408 og NS EN 13183-1) som beskriver metoden for densitet og fukttest med tørking av hele tverrsnittet. I ettertid har det blitt vurdert at dette ville vært den ideelle metoden, i motsetning til test av en mindre del av tverrsnittet. Dette fordi det i teorien kan være fuktforskjeller og densitetsforskjeller gjennom tverrsnittet og dermed kan metoden benyttet i denne oppgaven gi feil indikasjon av fukt og densitet for virket i sin helhet. Ved metoden for tørke av tverrsnittet kan man si noe om densiteten og fuktnivået for hele tverrsnittet og dermed også for trevirket mer nøyaktig. Etter standarden hvor man tar prøver av hele tverrsnittet skal man hente ut prøver ved en plassering ≥ 30 cm fra enden, var derfor ikke ønskelig av veileder å benytte seg av den metoden. Dette grunnet tap av trevirkets lengde, hvor minst 60 cm ville gå tapt hos trevirkene man skulle ta prøver fra begge ender.

7 Konklusjon

Målet med oppgaven var å undersøke kvaliteten på trevirke fra plukkhogst. Vi ønsket å finne ut om testmetodene for kvaliteten på konstruksjonsvirke hentet med eldre hogstmetoder kan videreføres til eldre trevirke fra eldre bygg hentet med samme hogstmetode. Med denne oppgaven ville vi bidra til å utvikle en standardisert metode for styrkesortering av eldre trevirke, slik at det kan gjenbrukes.

Resultatene fra visuell styrkesortering, firepunkts-bøyetest, fuktmålinger og densitetsprøver viser at virket er av god men varierende kvalitet. Det ble bekreftet at trevirkets fuktinnhold har mye å si for hvor stivt materialet er. Videre ble det avdekket at defekter i densitetsprøvene sannsynligvis hadde en påvirkning på resultatet da resultatet fra de ulike prøvene var svært varierende. Dermed bør testprøvene tas ut slik som standarden ISO 3129 beskriver for å få et nøyaktig resultat.

For å fastslå de faktiske materialeegenskapene til trevirket må det gjennomføres flere tester for å samle en større datamengde. Videre vil ikke den faktiske E-modulen kunne fastslås uten å teste prøvene til brudd, og resultatene presentert i denne oppgaven er som nevnt en estimering.

Bakgrunnen og opprinnelsen til virket er ikke tilstrekkelig dokumentert til at de naturlige styrkenedsettende faktorene kan konkluderes til hvilken betydning den har hatt for virkets materialeegenskaper. Resultatene av testene gjort kan ikke brukes til å si noe om kvalitet på plukkhogst eller trevirke med andre eldre hogstmetoder generelt, heller ikke om kvaliteten på plukkhogst fra eldre bygg. Dette fordi som nevnt over først og fremst er et nokså ferskt trevirke, hvor dens egenskaper vil være svært annenledens enn helt tørr plukkhogst fra et 100 år gammelt bygg.

Som nevnt i oppgaven hadde også trevirket feil produksjon og tørking som ga blant annet høye nivåer av fuktighet og tørkesprekker. Den høye fuktigheten påvirker igjen styrken på materialene og er dermed ikke sammenlignbart med tørt materiale fra eldre bygg eller plukkhogst produsert på korrekt måte.

Testmetodene som ble benyttet i oppgaven avdekket at kvist og fukt har hatt den største betydningen for egenskapene og styrken for det testede partiet. Det er også gjennom oppgaven vist at visuell styrkesortering eller en tilnærmet variant vil være en god og enkel metode for å fastslå hvorvidt virket med eldre hogstmetode (gjerne virke tiltenkt ombruk) kan klassifiseres og brukes til konstruksjon. Dette i lys av at ombruk av trevirke må bli mer lønnsomt økonomisk og tidsmessig. Dette for å kunne oppnå en økning av ombruk og dermed økt sirkulær økonomi i byggebransjen.

Styrkenedsettende faktorer som kommer av feilproduksjon, feil lagring, og feil tørking av virket kommer av menneskelig påvirkning, og sier ikke noe om treets potensielle og opprinnelige kvalitet – men har likevel en stor betydelig innvirkning på kvaliteten av trevirket og avgjør også om hvilke bruksområder trevirket kan ha. Disse faktorene viste seg tydelig i den visuelle styrkesorteringen i form av tørkesprekker og sopp, samt fuktnivået ved fukttest og måling. Det er derimot ikke avklart i hvilken grad disse påvirket virkets styrke. Flere av de testede trevirket av partiet hadde grove kvister som påvirket styrken betydelig. Kvist er en naturlig styrkenedsettende faktor, men det er også en menneskelig faktor der vedkommende som avgjorde valg av trær er årsaken til at man har trevirke med grove kvister eller andre styrkenedsettende faktorer. Dermed er produksjonsfasen med nøye planlegging og riktig valg av trær svært avgjørende for kvaliteten for trevirket og dens tiltenkte bruksområde.

Basert på resultatene oppfordres det til å undersøke et større antall testede enheter, samt utføre flere typer tester for å oppnå en større datamengde. Da det ble testet fersk plukkhogst, anbefales det å teste konstruksjonsmateriale fra eldre bygg for å avdekke faktisk kvalitet og egenskaper av eldre bygningskonstruksjoner. I tillegg også bruke metoder som i størst grad belyser faktisk og nøyaktig resultat, i motsetning til en estimering.

Ordliste

A

anisotrope egenskaper.....17
beskriver en egenskap der forholdene er ulike avhengig av retning.

B

bonitet.....11
kvalitetsnivå av jord som vokseplass for nyttevekster

F

fibrillvinkel.....11
vinkelen til mikrofibrillene

fotningrøst.....21
byggeteknikk av sperretak fra middelalderen

L

lignin.....9
organisk stoff som er bundet til cellulose i celleveggene hos planter

M

mikrofibriller.....9
komponent i trefiber bestående av cellulose

P

proveniens.....11

i skogbruksfaglig sammenheng: treets opprinnelsessted.

Litteraturliste

Anker-Rasch, u.d. *Hogst og hogstformer*. [Internett]

Available at: <https://skog.no/skogfaglig/hogstformer/>

[Funnen 1 mai 2024].

Bell, K., 2017. *Dimensjonering av trekonstruksjoner*. Bergen: Fagbokforlaget.

Byggalliansen, u.d. *Klimakur for bygg og eiendom*. [Internett]

Available at:

<https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543721156-39143120-001d>

[Funnen 19 03 2024].

Byggeindustrien, 2015. *Hvordan prosjektere miljøvennlig med livsløpsvurdering*. [Internett]

Available at: <https://www.bygg.no/hvordan-prosjektere-miljovennlig-med-livslopsvurdering/1241178!/>

[Funnen 28 03 2024].

Bækkelund, B., 2024. *Bledningshogst*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/bledningshogst>

Dalen, L. S., 2024. *Bestandsskogbruk*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/bestandsskogbruk>

[Funnen 1 mai 2024].

Dalsgaard, L. et al., 2015. *Karbondynamikk ved ulie hogstformer og avvirkningsstrategier*, Oslo: NIBIO.

Direktoratet for byggkvalitet, 2019. *Klimatilpassing av bygg og anlegg*. [Internett]

Available at: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/klimatilpasning/klimatilpasning-i-sektorer/bygg-og-anlegg/>

[Funnen 19 03 2024].

Edvardsen, K. I. & Ramstad, T. Ø., 2017. *Trehus*. 3. red. Oslo: SINTEF akademisk forlag.

European Committee for standardization, 2016. *NS-EN 14081-1*. [Internett]

Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-14081-1-2016a1-2019>

[Funnen 23 04 2024].

European Committee for standardization, 2010. *NS-EN 408*. [Internett]

Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-408-2010a1-2012>

[Funnen 23 04 2024].

Fjeld, I. E., 2021. *EU vurderer forbud mot norsk måte å drive skogbruk på*. [Internett]
Available at: <https://www.nrk.no/norge/eu-vurderer-forbud-mot-norsk-mate-a-drive-skogbruk-pa-1.15564631>

Flatland, R., u.d. *Trefokus*. [Internett]
Available at: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/42-Tradisjonsbaserte-byggemetoder.pdf>
[Funnen 20 03 2024].

FN-sambandet, 2023. *Bærekraftig utvikling*. [Internett]
Available at: <https://fn.no/tema/baerekraftig-utvikling-fattigdom-og-befolkning/baerekraftig-utvikling>
[Funnen 27 03 2024].

FN-sambandet, 2024. *Klimaendringer*. [Internett]
Available at: <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
[Funnen 20 03 2024].

FN-sambandet, u.d. *FNs bærekraftsmål*. [Internett]
Available at: <https://fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
[Funnen 24 03 2024].

FN-sambandet, u.d. *Klima og miljø*. [Internett]
Available at: <https://fn.no/tema/klima-og-miljoe>
[Funnen 21 03 2024].

Forskningsrådet, u.d. *SirkTRE - etablerer den helsirkulære verdikjeden for tre*. [Internett]
Available at: <https://prosjektbanken.forskningsradet.no/project/FORISS/328731>
[Funnen 10 04 2024].

Godal, J. B., 1996. Om huset som material-historisk dokument og tradisjon i handverk som kunnskapsberar. I: *Tre til laft og reis: gamle hus fortel om materialforbruk*. s.l.:Landbruksforlaget, pp. 9-12.

Godal, J. B., 1996. *Tre til laft og reis: Gamle hus fortel om materialbruk*. s.l.:Landbruksforlaget.

Godal, J. B., 1996. Vekst og form. I: *Tre til laft og reis: gamle hus fortel om materialforbruk*. s.l.:Landbruksforlaget, pp. 44-54.

Grønmo, S., 2023. *Kvantitativ metode*. [Internett]
Available at: https://snl.no/kvantitativ_metode
[Funnen 15 04 2024].

Halleraker, J. H., 2023. *EUs grønne vekststrategi*. [Internett]
Available at: https://snl.no/EUs_gr%C3%B8nne_vekststrategi
[Funnen 27 03 2024].

Hallingdal Museum, u.d. *Staveloftet*. [Internett]

Available at: <http://aalbygdearkiv.no/bygninger/staveloftet>

[Funnen 03 mai 2024].

Hanssen, K. H., u.d. *Hogstformer*. [Internett]

Available at: <https://www.nibio.no/tema/skog/skogbehandling-og-skogskjotsel/foryngelseshogst>

[Funnen 22 April 2024].

Hanssen, M. R., Thorkildsen, T. E. & Nyrud, A. Q., 2024. *Livsløpsanalyse av ombruk av returtre*, ÅS: NMBU.

Jakobsen, I. U., 2024. *Parisavtalen*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/Parisavtalen>

[Funnen 26 03 2024].

Larsen, Ø. S., 2022. *Flatehogst*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/flatehogst>

Larsen, Ø. S., 2023. *Tennar*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/tennar>

Lovdata, 2021. *Lov om klimamål (klimaloven)*. [Internett]

Available at: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60>

[Funnen 27 03 2024].

McClellan, P. & Kühne, C., 2022. *Skogbehandling à la carte?*. [Internett]

Available at: <https://norsk-skogbruk.no/forskning/skogbehandling-a-la-carte/>

Medeiros, T. M., 2021. *Sirkulær økonomi i den norske byggebransjen*, s.l.: NTNU.

Moen, K. R., Kucera, B., Eikenes, B. & Birkeland, R., 1998. Dei fysiske-tekniske eigenskapane til trevirket. I: *Trevirke*. s.l.:Landbruksforlaget, pp. 42-68.

Moen, K. R., Kucera, B., Eikenes, B. & Birkeland, R., 1998. Produksjon av kvalitetsvirke. I: *Trevirke*. s.l.:Landbruksforlaget, pp. 82-96.

Naturvernforbundet, u.d. *Konsekvenser av global oppvarming*. [Internett]

Available at: <https://naturvernforbundet.no/konsekvenser-av-global-oppvarming/>

[Funnen 26 03 2024].

NIBO, 2019. *Ombruk av tre*. [Internett]

Available at: <https://www.nibio.no/prosjekter/fremtre>

[Funnen 28 03 2023].

Nilsen, H. R., 2023. *Sirkulær økonomi*. [Internett]

Available at: https://snl.no/sirkul%C3%A6r_%C3%B8konomi

[Funnen 04 04 2024].

Norsk Sagbruksmuseum, 2020. *Trelast før 1500*. [Internett]
Available at: <https://sagbruksmuseet.no/2020/05/trelast-for-1500/>
[Funnen 11 april 2024].

nti-gruppen, u.d. *Sammen bygger vi en bærekraftig fremtid*. [Internett]
Available at: <https://www.nti-group.com/no/radgivning/losninger-og-konsepter/barekraftig-fremtid/sammen-bygger-vi-en/>
[Funnen 28 03 2024].

Nygaard, P. H. & Øyen, B.-H., 2020. Plukkhogstperioden. I: *Skoghistorisk tilbakeblikk med vekt på utviklingen av bestandsskogbruket i Norge*. Ås: NIBIO, pp. 17-19.

Nygaard, P. H. & Øyen, B.-H., u.d. Bestandskogbrukets fremvekst. I: *Skoghistorisk tilbakeblikk med vekt på utviklingen av bestandsskogbruket i Norge*. Ås: NIBIO, pp. 19-22.

Olerud, K., Fuglestvedt, J. S. & Kallbekken, S., 2024. *FNs klimapanel*. [Internett]
Available at: https://snl.no/FNs_klimapanel_-_IPCC
[Funnen 20 03 2024].

Omtre, u.d. *Omtre vil gjøre det enkelt og naturlig å velge brukt trevirke*. [Internett]
Available at: <https://www.omtre.no/>
[Funnen 10 04 2024].

Ormestad, H., 2024. *elastisitetmodul, Store norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/elastisitetmodul>
[Funnen 15 05 2024].

Proff Norge, 2012. *Bruksanvisning Protimeter BLD8800 MMS2*. [Internett]
Available at: https://res.cloudinary.com/proffnorge-no/image/upload/v1643983954/p_207056_documentation_1
[Funnen 25 04 2024].

Proff Norge, u.d. *Protimeter BDL8800 MMS2*. [Internett]
Available at: <https://www.proffnorge.no/protimeter-mms-rf-pigger>
[Funnen 25 04 2024].

Proff Norge, u.d. *Protimeter BLD8800 MMS2*. [Internett]
Available at: <https://www.proffnorge.no/protimeter-mms-rf-pigger>
[Funnen 25 04 2024].

Rambekk, I., 2020. *Norge bør satse på rehabilitering framfor nybygg*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/norge-bor-satse-pa-rehabilitering-framfor-nybygg/>
[Funnen 28 03 2024].

Regjeringen, 2022. *Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent*. [Internett]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55->

[prosent/id2944876/](#)
[Funnen 27 03 2024].

Regjeringen, u.d. *Globale miljøutfordringer*. [Internett]
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2009-16/id568044/?ch=3>
[Funnen 27 03 2024].

Sintef, 2020. *Anbefaler klimagasskrav til norske bygninger*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/anbefaler-klimagasskrav-til-norske-bygninger/>
[Funnen 04 04 2024].

Sintef, u.d. *Livsløpsanalyser for bygg og anlegg (LCA)*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/ekspertise/community/livslopsanalyser-av-bygninger/>
[Funnen 28 03 2024].

Sintef, u.d. *Sirkulær økonomi i bygg og anlegg*. [Internett]
Available at: <https://www.sintef.no/fagomrader/byggematerialer/sirkularokonomi-i-byggenaringen/>
[Funnen 2024 04 04].

SirkTRE, u.d. *Vi etablerer trenæringens verdisirkler*. [Internett]
Available at: <https://www.sirktre.no/>
[Funnen 10 04 2024].

Skaug, E., 2007. *Trevirkets oppbygging og egenskaper*, Oslo: Treteknisk.

Standard Norge, 2010. *NS-INSTA 142*. [Internett]
Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-insta-142-2009>
[Funnen 23 04 2024].

Standard Norge, u.d. *Hva er en standard?*. [Internett]
Available at: <https://standard.no/standardisering/hva-er-en-standard/>
[Funnen 02 05 2024].

Standard Norge, u.d. *Hvordan lages en standard?*. [Internett]
Available at: <https://standard.no/standardisering/hvordan-lages-en-standard/>
[Funnen 02 05 2024].

Svanemerket, 2024. *EU Green Deal*. [Internett]
Available at: <https://svanemerket.no/miljo/eu-green-deal/>
[Funnen 27 03 2024].

Sørnes, K. et al., 2014. *Anbefalinger ve ombruk av byggematerialer*, Oslo: SINTEF akademisk forlag.

The International Organization for Standardization, 2014. *ISO 13061*. [Internett]
Available at: <https://online.standard.no/nb/iso-13061-1-2014-2>
[Funnen 23 04 2024].

The International Organization for Standardization, 2019. *ISO 3129*. [Internett]
Available at: <https://online.standard.no/nb/iso-3129-2019>
[Funnen 23 04 2024].

The International Organization for Standardization, 2016. *NS-EN 388*. [Internett]
Available at: <https://online.standard.no/nb/ns-en-388-2016a1-2018>
[Funnen 23 04 2024].

Tjernshaugen, A., 2021. *Miljøproblem*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/milj%C3%B8problem>
[Funnen 21 03 2024].

Trondheim kommune, 2022. *FAKTAARK: Gjenbrukshuset i Trondheim*. [Internett]
Available at: <https://www.trondheim.kommune.no/org/naring-samferdsel-klimatekstil/miljo/klimatekstil-miljoenheten/faktaark-om-natur-miljo-og-helse/gjenbrukshuset-i-trondheim/>
[Funnen 10 04 2024].

Tronstad, S., 2013. *Tre og fuktighet*. [Internett]
Available at: <https://www.treteknisk.no/publikasjoner/treteknisk-handbok/tre-og-fuktighet>
[Funnen 18 04 2024].

UiO, institutt for biovitenskap, 2021. *Proveniens*. [Internett]
Available at:
<https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/p/proveniens.html>

WWF, u.d. *Earth overshoot day*. [Internett]
Available at: <https://www.wwf.no/klimatekstil-og-energi/earth-overshoot-day>
[Funnen 21 03 2024].

WWF, u.d. *Truede arter i verden*. [Internett]
Available at: <https://www.wwf.no/dyr-og-natur/truede-arter/truede-arter-i-verden>
[Funnen 21 03 2024].

Øvrum, A. & Skaug, E., u.d. *FOKUS på tre - Konstruksjonsvirke*, Oslo: Treteknisk.

Aarø, I., 2021. *Å forby flatehogst i Norge vil verken være bra for klimaet eller plante- og dyrelivet i skogen..* [Internett]
Available at: <https://www.glommen-mjosen.no/nyheter/eus-forfeilede-forslag/>

Vedleggsliste (eksterne vedlegg)

Beregningsfil fra Microsoft Excel (Test av materiale – oversikt)
Data presse (Små stikker, Store stikker)
Data nedbøyning
Visuell styrkesortering 19. april
KI-deklarasjon

Vedlegg

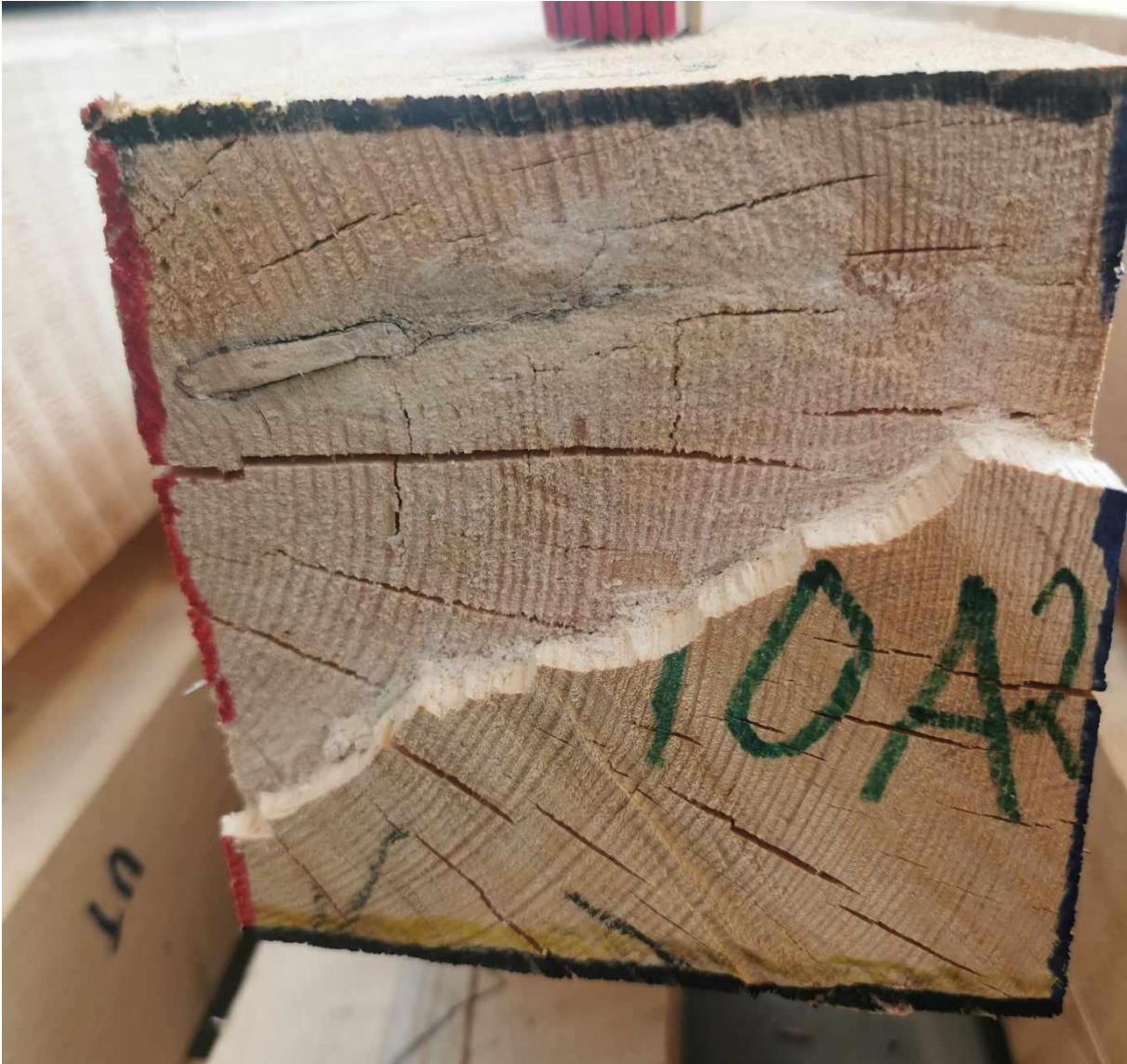
Vedlegg 1: Tørkesprekker i endene på virket (foto: Silje Hoem Johnsen)











Vedlegg 2: NS-INSTA 142 Begrensinger for fasthetsreducerende egenskaper

Virkesfeil	T3	T2	T1	T0
Enkeltkvist	Kantside: Høyst 1/3 av tykkelsen Flatside: Høyst 1/6 av bredden	Kantside: Høyst 1/2 av tykkelsen Flatside: Høyst 1/4 av bredden	Kantside: Høyst 4/5 av tykkelsen Flatside: Høyst 2/5 av bredden	Kantside: Hele tykkelsen Flatside: Høyst 1/2 av bredden
Gankvist	Ikke tillatt	Kantside: Som enkeltkvist Flatside: Lengde høyst lik virkesbredden.		Tillatt
Kvistgrupper	Største tillatte samlet kvistmål er lik målet på største tillatte flatsidekvist + største tillatte kantsidekvist.			
Kvist i firkant	Høyst 1/5 av siden	Høyst 2/5 av siden	Høyst 3/5 av siden	Høyst 4/5 av siden
Kvistgrupper i firkant	Største tillatte samlet kvistmål er 4 ganger største tillatte enkeltkvist.			
Fiberhelling	Høyst 1:10	Høyst 1:8	Høyst 1:6	Høyst 1:4
Årringbredde	Høyst 4 mm	Høyst 6 mm	Høyst 8 mm	Ingen begrensning
Ringsprekk	Ikke tillatt	Tillatt med en total bredde (begge sider av margin) på 50 mm (dybde = 25 mm) i inntil 0,5 m lengde.		Tillatt i opptil 1 m lengde
Tørkesprekker, ikke gjennomgående (total lengde)	Tørkesprekker med dybde under halvparten av tykkelsen er tillatt uten begrensninger.			
	Tillatt i opptil 1 m lengde men høyst 1/4 av lengden. Sprekk kan ikke gå over hjørne.		Tillatt i opptil 1,5 m lengde, men høyst 1/2 av lengden. Sprekk kan ikke gå over hjørne.	Tillatt i hele virkeslengden
Sprekk, gjennomgående	Kun tillatt i ender i en lengde lik virkesbredden, men høyst 150 mm.			Tillatt med en total lengde opptil 0,5 m. Tillatt i ender i en lengde lik virkesbredden, men høyst 150 mm.
Toppbrudd og vre	Tillatt i 1/4 av bredden. Ikke tillatt i ytre 1/4 av bredden.	Tillatt i 1/2 av bredden. Ikke tillatt i ytre 1/4 av bredden.		Tillatt i 3/4 av bredden
Trykkbrudd	Ikke tillatt			Små skader tillatt

Vedlegg 3: NS-INSTA 142 Begrensinger for vankant og dimensjonstoleranse

Virkesfeil	T3	T2	T1	T0
Vankant	I ethvert tverrsnitt skal minst 2/3 av både kantside og yteside være bearbeidet.			
Dimensjonstoleranser	Referansefuktigheten er 20 %. Gjennomsnittlig tykkelse og bredde skal ikke være lavere enn nominelt mål. Toleranse klasse 1: Tykkelser og bredder ≤ 100 mm: + 3, -1 mm. Tykkelser og bredder > 100 mm: + 4, -2 mm. Lengde: Negative avvik er ikke tillatt. Toleranse klasse 2: Tykkelser og bredder ≤ 100 mm: ± 1 mm. Tykkelser og bredder > 100 mm: ± 1,5 mm. Lengde: Negative avvik er ikke tillatt.			

Vedlegg 4: NS-INSTA 142 Største deformasjon over 2 meter

Virkesfeil	T3	T2	T1	T0
Flatbøy w	10 mm		20 mm	
Kantkrok x	8 mm		12 mm	
Vindskjevhet y	1 mm per 25 mm bredde av trelasten		2 mm per 25 mm bredde av trelasten	
Kuving	Ingen krav			
MERKNAD 1 Kravene tilsvarende minstekravene til deformasjon er nedfelt i NS-EN 14081-1.				
MERKNAD 2 Deformasjoner henger sammen med fuktighetsinnhold og kan derfor endres over tid.				

Vedlegg 5: NS-INSTA 142 Begrensninger for misfarging og soppangrep

Virkesfeil	T3	T2	T1	T0
Blåved (se punkt 3.5)	Tillatt			
Barkbrunt (se punkt 3.7)	Tillatt			
Brent (se punkt 3.14)	Ikke tillatt	Gjennomgående ikke tillatt. Tillatt i opptil 1/4 av sidebredden hvor det forekommer i en lengde på opptil 0,5 m. Tillatt i opptil 1/8 av sidebredden i trelastens fulle lengde.		Tillatt
Råte (se punkt 3.34)	Ikke tillatt, unntatt i råtekvist.			

Vedlegg 6: NS-INSTA 142 Begrensninger for andre virkesfeil

Virkesfeil	T3	T2	T1	T0
Tennar (se punkt 3.11)	Ikke tillatt hvis formen til trelasten vil endres vesentlig når den tørker. Ellers er det tillatt i et omfang som beskrevet under.			
	Opptil 10 % av tverrsnittsarealet			Opptil 20 % av tverrsnittsarealet
Kvaelommer	Tillatt			
Tyrived	Tillatt			
Føyre (se punkt 3.31)	Tillatt i en bredde på opptil 1/5 av trelastens bredde, og i en lengde på opptil to ganger trelastens bredde. Gjennomgående godtas ikke.	Tillatt i en bredde på opptil 1/5 av trelastens bredde og i en lengde på opptil tre ganger trelastens bredde. Gjennomgående godtas ikke.		Gjennomgående godtas ikke.
Værgrått	Tillatt			
Insektskader	Ikke tillatt			Små hull er tillatt
Skade forårsaket av håndtering, bearbeiding osv.	Ikke tillatt	Minst 95 % av tverrsnittet skal være uskadd.		Minst 85 % av tverrsnittet skal være uskadd.

Vedlegg 7: NS-EN 338 styrkeklasser for konstruksjonsvirke

NS-EN 338:2016

EN 338:2016 (E)

Table 1 — Strength classes for softwood based on edgewise bending tests – strength, stiffness and density values

	Class	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Strength properties in N/mm²													
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	7,2	8,5	10	11,5	13	14,5	16,5	19	22,5	26	30	33,5
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	24	25	27	29	30
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,7	2,7	2,8	2,9	3,0
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Stiffness properties in kN/mm²													
Mean modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,mean}$	7,0	8,0	9,0	9,5	10,0	11,0	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
5 percentile modulus of elasticity parallel bending	$E_{m,0,5}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,1	10,7
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{m,90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Density in kg/m³													
5 percentile density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	360	380	390	400	410	430
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	400	410	420	430	460	470	480	490	520
NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, char. modulus of elasticity in bending, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus have been calculated using the equations given in EN 394.													
NOTE 2 The tension strength values are conservatively estimated since grading is done for bending strength.													
NOTE 3 The tabulated properties are compatible with timber at moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %, which corresponds to a moisture content of 12 % for most species.													
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408.													
NOTE 5 These classes may also be used for hardwoods with similar strength and density profiles such as e.g. poplar or chestnut.													
NOTE 6 The edgewise bending strength may also be used in the case of flatwise bending.													

NS-EN 338:2016 provided by Standard Online AS for NTNU Universitetsbiblioteket 2020-01-23

Vedlegg 8: Rissenål (foto: Kristin Nymark Rasmussen)

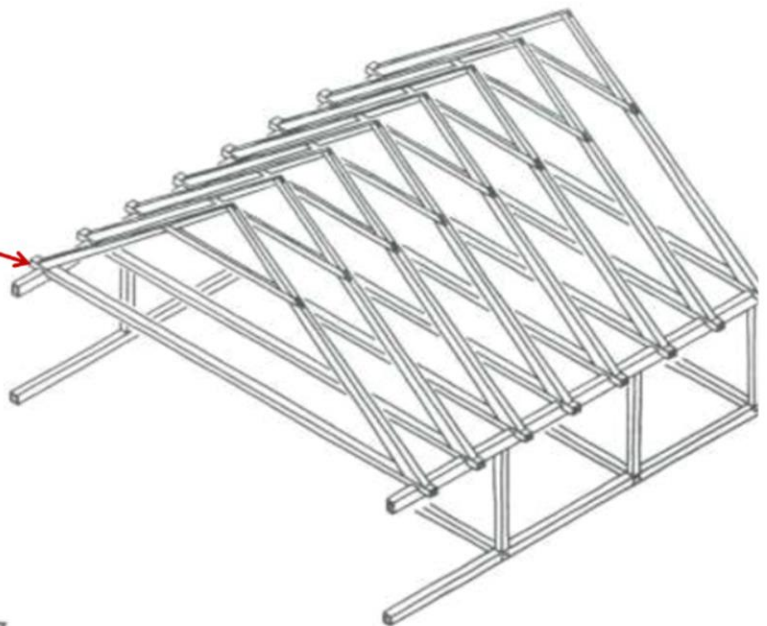


Vedlegg 9: Prinsippskisse for bygget materialene skal brukes til (Hentet fra presentasjon av Jon Bojer Godal (2024))

Tidleg ute var *fotingsrøstet* . Det ligg eit par generasjonar framom sveitserrøstet (som vi kjem attende til).

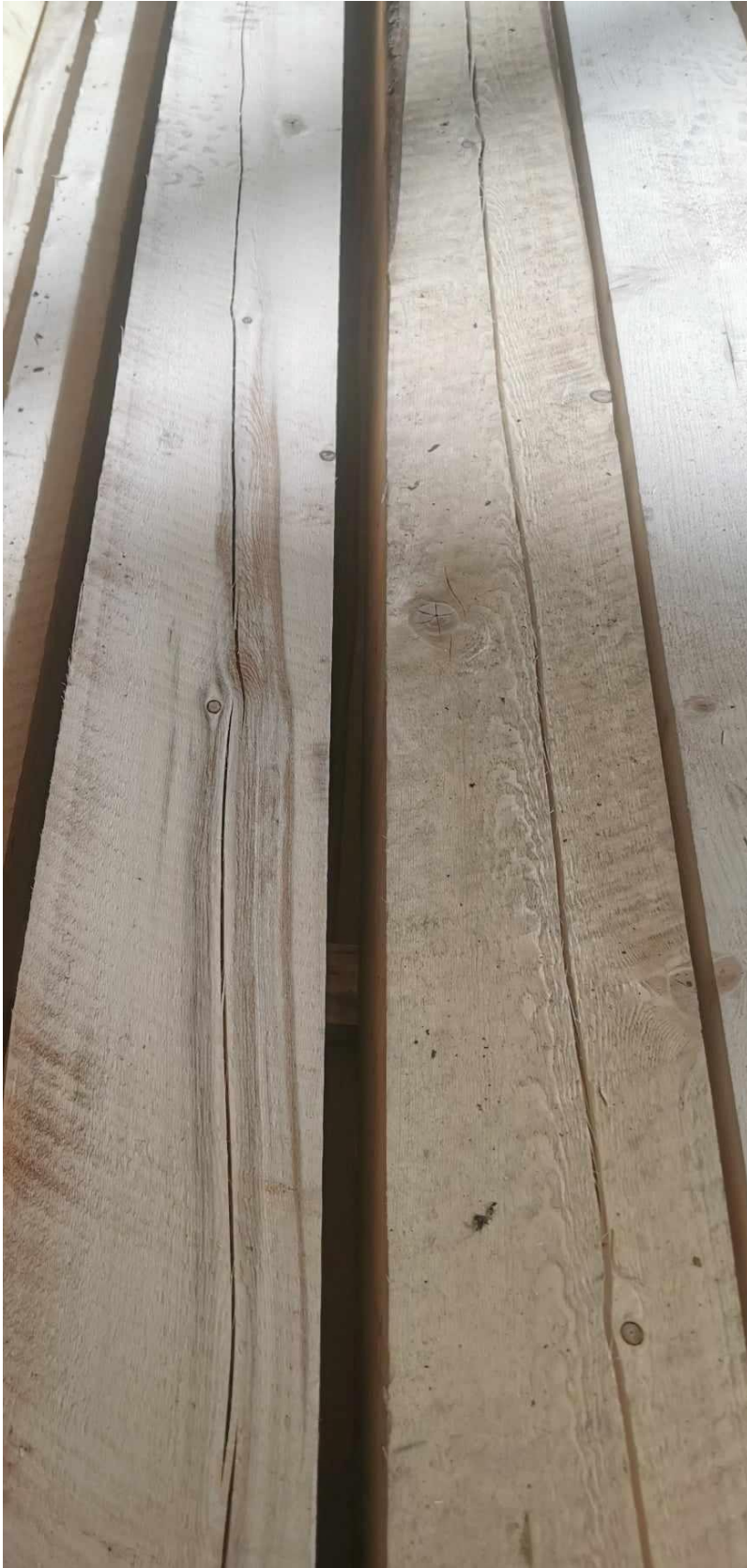
Grunnprinsippet i fotingsrøstet er den låste trekanten med hanebjelke og der den underliggjande sperrelunnen som regel stikk lenger ut enn sperrene.

Sperrelunnane går oftast i utakt med stavane (over). Det stiller krav til toppsvilla.



17

Vedlegg 10: Tørkesprekker i lengderetningen (foto: Silje Hoem Johansen)



Vedlegg 11: Uavhengig nedbøyingssensor på trevirke med tørkesprekker i lengderetningen (foto: Silje Hoem Johansen)



