

Nicolai Hildre  
Hanne Aa. Leiknes  
Grete Morseth

## Massivtre som bærende konstruksjon i store bygg

Cross-Laminated Timber as the Load Bearing  
Structure in Larger Buildings

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, bygg  
Veileder: Per Otto Yttervoll, Trond Øyvind Nilsen  
Mai 2021



Nicolai Hildre  
Hanne Aa. Leiknes  
Grete Morseth

## **Massivtre som bærende konstruksjon i store bygg**

Cross-Laminated Timber as the Load Bearing Structure in Larger Buildings

Bacheloroppgave i Ingeniørfag, bygg  
Veileder: Per Otto Yttervoll, Trond Øyvind Nilsen  
Mai 2021

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



Kunnskap for en bedre verden







# Prosjektbeskrivelse og resultatmål

Oppgaven tar utgangspunkt i et nybygd leilighetskompleks på Gjøvik, bygget av Syljuåsen AS. Bygget sto ferdig sommeren 2020, og var en gjenoppbygging etter en brann i 2015. Kvisgårdshjørnet var opprinnelig et vernet bygg.

I første møte med kontaktpersonen fra Syljuåsen fikk gruppen vite at bygget opprinnelig var tenkt med bæring i tre. Syljuåsen hadde på grunn av tidspress lagt bort ideen om bærekonstruksjoner i tre og valgt å gå for en løsning med stål og betong som bæresystem. Dette er et byggesystem som de har mye erfaring med.

Bygget var vernet, og lå i et av Gjøviks travleste kryss. Med fem armer ut av krysset, én til Sykehuset Innlandet avdeling Gjøvik, én til Gjøvik skole, én til Gjøvik kirke og to til Gjøvik sentrum, er det uten tvil en spesiell eiendom. I gjenoppbyggingen har arkitektene prøvd å ivareta det unike utseende Kvisgårdshjørnet opprinnelig hadde.

For å løse denne oppgaven måtte gruppen tilegne seg kunnskap om ulike bæresystemer i tre, og hvilke mulighetsrom disse har. Dette for å optimalisere bruken av materialet i forhold til lastene konstruksjonen blir utsatt for. På sin side krever dette beregninger av ulike lasttyper og lasttilfeller, slik at man har et godt grunnlag for dimensjonering av konstruksjonselementene. Under arbeidet med oppgaven fattet gruppen interesse for massivtre, og valgte dette som hovedtema. Gruppen fikk dermed en dreining i oppgaven, noe som ble dokumentert i henhold til NTNUs retningslinjer.

Gruppen utførte forenklet dimensjonering av ulike konstruksjonskomponenter. Videre undersøkte gruppen lønnsomheten til massivtrebygg sammenlignet med bygg i stål og betong. Tidsbruk i massivtreprosjekter var også et aspekt gruppen ønsket å se nærmere på, da tidspresset var årsaken til at tre i utgangspunktet ble valgt bort.

I arbeidet med oppgaven ble gruppen interessert i hvorfor massivtre ikke var mer benyttet i byggebransjen. Derfor gjennomførte gruppen intervjuer med ulike bransjeaktører, for å få økt innsikt i kunnskaper, holdninger og erfaringer rundt massivtre.

Stikkord fra prosjektet:

Massivtre, tid, lyd, brann, kunnskap, holdninger, økt bruk av massivtre

# Sammendrag

Denne Bacheloroppgaven tar for seg teori og beregningsgang for bærekonstruksjoner i massivtre. Oppgaven tar utgangspunkt i Kvisgårdshjørnet på Gjøvik, som er et leilighetskompleks bygget i stål og betong. Hensikten var å finne ut hvorvidt Kvisgårdshjørnet kunne blitt bygget i massivtre. Videre undersøkte gruppen hvilke kunnskaper og holdninger byggebransjen har til massivtre.

Opgaven er delt inn i to deler: en beregningsdel og en kvalitativ del.

I litteraturinnhentingprosessen ble gruppen overrasket over den lave bruken av massivtre, spesielt i privat sektor. Utbredelsen er større i offentlig sektor, men likevel et lite brukt materiale i Norge. Gruppen lurte derfor på om materialet var lite brukt fordi det er lite kjent, eller fordi det er veldig utfordrende og ikke gir økonomisk gevinst. Dette la grunnlaget for Del 2 av oppgaven der gruppen gjennomførte intervjuer med ulike bransjeaktører.

Gjennom de to delene har gruppen arbeidet ut fra følgende problemstilling:

## **Hvordan øke bruken av massivtre som bærende konstruksjon? Sett i lys av Kvisgårdshjørnet på Gjøvik.**

Med utgangspunkt i problemstillingen har gruppen sett på utviklingen av kunnskap og anvendelse frem til i dag, og prøvd å samle kunnskap for å si noe om fremtidig bruk av massivtre.

I den første delen av oppgaven har gruppen sett på muligheten for å bygge Kvisgårdshjørnet i massivtre med den tilgjengelige prosjekttiden på åtte måneder. Bygget var opprinnelig tenkt med bæring i tre, men dette ble valgt bort da entreprenøren hadde et tidspress og lite erfaring med materialet. I beregningsdelen utførte gruppen dimensjonering av utvalgte konstruksjonskomponenter, og tok for seg de ulike temaene tid, brann, økonomi og akustikk.

Gruppen gjorde beregninger av ulike lastkombinasjoner, hvor vind- og snølast var de variable lastene. Disse ble brukt til å dimensjonere og kontrollere etasjeskiller, yttervegg og tak i Kvisgårdshjørnet.

Ut fra kontrollene gjort i denne delen av oppgaven, ser gruppen at det konstruksjonsteknisk ville vært mulig å bygge Kvisgårdshjørnet i massivtre. Gruppen finner det også overveiende sannsynlig at tiden som var tilgjengelig ville vært tilstrekkelig for å bygge i massivtre. Dette er basert på funnene gjort i litteraturinnhenting.

Resultatene i denne delen av oppgaven gjorde at gruppen stilte nye spørsmål rundt valget av bæresystem. I dette tilfellet ble stål og betong valgt fremfor massivtre. Det ble

interessant å undersøke om stål og betong velges fremfor massivtre flere steder i bransjen.

I den andre delen av oppgaven har gruppen undersøkt bransjens kunnskaper og holdninger til massivtre. Gjennom en kvalitativ undersøkelse har gruppen intervjuet ulike bransjeaktører. Informantene som ble valgt ut var entreprenører, konsulenter, leverandører og byggherrer. Synspunktene fra disse ble sammenlignet med teori og empiri fra tidligere forskning, og dannet grunnlaget for resultatene i denne delen av oppgaven.

I oppgaven kom det frem at kunnskapsnivået har økt de siste fem til seks årene, men at det fortsatt er noen aktører som trenger et kunnskapsløft. Valget av materiale til bærekonstruksjoner blir som oftest tatt av entreprenører eller byggherrer, og disse har dårligere kunnskaper om bruken av massivtre enn konsulenter og leverandører.

God miljøprofil er som oftest grunnen til at massivtre velges. Samtidig kan ønsket om å benytte miljøvennlige materialer føre til at materialet brukes på områder der det ikke alltid er hensiktsmessig. Ved transport over lengre strekninger kommer massivtre dårlig ut på CO<sub>2</sub>-regnskapet, og da kan spesielt lavkarbonbetong være bedre.

Massivtre kan være et utfordrende materiale med tanke på krav til brann og akustikk, men er tekniske utfordringer som kan løses. En annen utfordring er at materialet ikke alltid gir bedre lønnsomhet enn stål og betong, men offentlige insentiver kan føre til økt bruk. Med økt bruk kommer gode løsninger, og med gode løsninger kommer god lønnsomhet.

I arbeidet med oppgaven har gruppen identifisert tre punkter som kan øke bruken av massivtre:

- Storskalatesting av brann- og akustikkløsninger for massivtre
- Miljøkrav i anbudskonkurranser
- Kunnskapsløft om massivtre for entreprenører og byggherrer

# Abstract

This Bachelor's thesis addresses the theory and calculation methods behind cross-laminated timber as the load-bearing structure in buildings. The thesis is based on Kvisgårdshjørnet in Gjøvik, an apartment complex built with steel and concrete. The purpose was to find out whether Kvisgårdshjørnet could have been built with cross-laminated timber. Furthermore, the group investigated what knowledge and attitudes the construction industry has to cross-laminated timber.

The thesis is split into two parts: a calculation part and a qualitative part.

In the literature collection process, the group was surprised by the low use of cross-laminated timber, especially in the private sector. The prevalence is greater in the public sector, but still a little used building material in Norway. The group therefore wondered if the material was little used because it is unknown, or because it is a very challenging material and does not provide financial gain. This laid the foundation for Part 2 of the thesis, where the group conducted interviews with various industry players.

During both parts of the thesis, the group has worked on the following research question:

**How to increase the use of cross-laminated timber as a load-bearing structure? In light of Kvisgårdshjørnet in Gjøvik.**

Based on the research question, the group looks at the development of knowledge and use to date, and tries to gather knowledge to say something about the future use of cross-laminated timber.

In the first part of the thesis, the group has looked at the possibility of building Kvisgårdshjørnet in cross-laminated timber with the available project time of eight months. The building was originally intended to have cross-laminated timber as the load-bearing structure, but this was not chosen as the contractor had time pressure and little experience with the building material. In the calculation part, the group focused on the selected topics time, fire, economics, and acoustics.

The group made calculations of different load combinations, where wind and snow loads were the variable loads. These were used for dimensioning and control of the floor dividers, the outer wall, and the roof in Kvisgårdshjørnet.

Based on the controls done in this part of the thesis, the group sees that it would have been possible to build Kvisgårdshjørnet with cross-laminated timber as the load-bearing structure. The group also finds it highly probable that the time that was available would be sufficient to build with cross-laminated timber. This is based on the findings made in the literature collection.

The results in this part of the thesis made the group ask new questions about the choice of load-bearing structure. In this case, steel and concrete were chosen over cross-laminated timber. It was interesting to investigate whether steel and concrete are chosen over cross-laminated timber elsewhere in the industry.

In the second part of the thesis, the group has examined the industry's knowledge and attitudes towards cross-laminated timber. Through a qualitative survey, the group has interviewed various industry players. The informants selected were contractors, consultants, suppliers, and building owners. The views from these were compared to theory and empirical data from previous research, and formed the basis for the results in this part of the thesis.

The thesis showed that the level of knowledge has increased in the last five to six years, but that there are still some industry players who need a knowledge boost. The choice of material for load-bearing structures is most often made by contractors or building owners, and these have poorer knowledge of the use of cross-laminated timber than consultants and suppliers.

Good environmental profile is usually the reason why cross-laminated timber is chosen. At the same time, the desire to use environmentally friendly materials can lead to the material being used in areas where it is not always advantageous. When transporting over longer distances, cross-laminated timber has greater CO<sub>2</sub>-emissions than if locally produced. If that is the case, low-carbon concrete in particular can be better.

Cross-laminated timber can be a challenging material in terms of requirements for fire and acoustics, but these are challenges that can be solved. Another challenge is that the material does not always provide better profitability than steel and concrete, but public incentives can lead to increased use. With the increased usage comes good solutions, and with good solutions comes good profitability.

In working on the thesis, the group has identified three points that can increase the use of cross-laminated timber:

- Large-scale testing of fire and acoustic solutions for cross-laminated timber
- Environmental requirements in invitations to tender
- Knowledge boost about cross-laminated timber for contractors and building owners

## Forord

Denne Bacheloroppgaven er skrevet av Nicolai Hildre, Hanne Aa. Leiknes og Grete Morseth ved Institutt for bygg og miljø ved Fakultet for ingeniørvitenskap ved NTNU Trondheim, våren 2021. Oppgaven utgjør de siste 20 studiepoengene ved Bachelor i ingeniørfag, bygg. Alle tre studentene har hatt konstruksjonsteknikk som sin ferdypningsretning det siste studieåret.

Høsten 2020 tok gruppen kontakt med entreprenørfirmaet Syljuåsen AS. De kom med et forslag til en interessant oppgave, som har formet seg til å bli denne Bacheloroppgaven.


Gruppen ønsker å rette en stor takk til intern veileder Per Otto Yttervoll, førstelektor ved Institutt for konstruksjonsteknikk. En stor takk rettes også til ekstern veileder Trond Øyvind Nilsen, ansatt i Syljuåsen AS og prosjektleder under oppføringen av Kvisgårdshjørnet.

Gruppen ønsker til slutt å takke alle informantene som har stilt opp i intervjuene i forbindelse med denne oppgaven. Deres bidrag har gjort det mulig å gjennomføre denne oppgaven.


Trondheim 20. mai 2021



Nicolai Hildre



Hanne Aa. Leiknes



Grete Morseth

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	i
Abstract.....	iii
Forord .....	v
Innholdsfortegnelse .....	vi
Figurliste .....	ix
Tabelliste .....	xi
1. Introduksjon.....	1
1.1. Bakgrunn .....	4
1.2. Problemdefinering.....	5
1.3. Avgrensninger.....	5
1.4. Oppgavens struktur .....	6
<b>Del 1</b>	
2. Teori .....	8
2.1. Tre som byggemateriale .....	8
2.2. Lover og regler for byggenæringen .....	11
2.3. Konstruksjonskomponenter .....	14
2.4. Stål.....	21
2.5. Betong .....	23
2.6. Limtre .....	25
2.7. Massivtre .....	27
3. Metode .....	46
3.1. Litteraturstudien.....	46
4. Dimensjonering.....	49
4.1. Laster og lastkombinasjoner .....	49
4.2. Lastvirkninger og kontroll.....	52
4.3. Forbindelser .....	53
5. Diskusjon.....	58
5.1. Beregninger.....	58
5.2. Tidsbruk .....	59



6.	Konklusjon .....	61
6.1.	Prosesen videre .....	61
<b>Del 2</b>		
7.	Teori .....	63
7.1.	Studie 1 .....	63
7.2.	Studie 2 .....	65
7.3.	Studie 3 .....	68
8.	Metode .....	72
8.1.	Kvantitative og kvalitative metoder .....	72
8.2.	Valg av metode .....	73
8.3.	Intervju .....	73
8.4.	Mulige feilkilder .....	77
9.	Resultat .....	78
9.1.	Informantene .....	78
9.2.	Motivasjon bak bruk av massivtre .....	79
9.3.	Vurdering ved valg av bæresystem .....	80
9.4.	Klima og miljø .....	80
9.5.	Økonomi og lønnsomhet .....	81
9.6.	Tekniske utfordringer .....	82
9.7.	Prosjekteringsfase .....	84
9.8.	Byggefase .....	86
9.9.	Drifts- og bruksfase .....	89
9.10.	Opplevd kunnskap og holdninger .....	91
9.11.	Myndighetspåvirkning .....	93
9.12.	Økt bruk av massivtre .....	94
9.13.	Trend .....	95
10.	Diskusjon .....	97
10.1.	Vurdering ved valg av bæresystem .....	97
10.2.	Klima og miljø .....	97
10.3.	Økonomi og lønnsomhet .....	98
10.4.	Tekniske utfordringer .....	100

10.5.	Prosjekteringsfase .....	101
10.6.	Byggefase .....	103
10.7.	Drifts- og bruksfase .....	104
10.8.	Opplevd kunnskap og holdninger.....	106
10.9.	Myndighetspåvirkning .....	107
10.10.	Økt bruk av massivtre.....	107
10.11.	Trend .....	108
10.12.	Evaluering av resultatene .....	108
11.	Konklusjon .....	110
11.1.	Veien videre .....	112
Referanser .....		113
Vedleggsoversikt .....		120

# Figurliste

Figur 1. Klimagassutslipp fra bygg- og anleggsbransjen, og produksjon av byggevarer (Bygg21, 2018).....	1
Figur 2. Moholt 50 50 (Kebony, 2016).....	2
Figur 3. Treet i Bergen. Foto: David Valldeby.....	3
Figur 4. Mjøstårnet. Foto: Anne Bergsengene .....	3
Figur 5. Tenkt plassering av Oakwood Tower i London (PLP Architecture, u.å.).....	4
Figur 6. Treets oppbygning, her vist oppbygningen av bartrær (Skaug, 2018). .....	9
Figur 7. Treets ulike lag (Skaug, 2018). .....	10
Figur 8. Rangering av lover, forskrifter og veiledninger. ....	12
Figur 9: Oversikt over lover, forskrifter og veiledninger. ....	12
Figur 10. Bergsøysundbrua med fagverk i stål. Foto: broer.no .....	15
Figur 11. Gimsøystraumbua i Lofoten. Foto: Gerd Eichmann .....	16
Figur 12. Rammekonstruksjon i stål. Foto: Rogerio Moreira.....	17
Figur 13. Kylling bru. Buekonstruksjon av steinblokker. Foto: broer.no .....	17
Figur 14. Betongbru formet som en bue. Foto: Eric Sakowski. ....	18
Figur 15. Limtrebru formet som en bue. Foto: Moelven.com.....	18
Figur 16. Akashi Kaikyo-brua i Japan. Foto: José S. Antunes do Carmo .....	19
Figur 17. Forskjell i bøyespenning for lav bjelke og skive (Larsen, 2004). .....	20
Figur 18. Søylar av stål (SINTEF Byggforsk, 2018). .....	22
Figur 19. Hulldekke. Foto: Betongelement.no .....	23
Figur 20. Betong som sprøytes over armeringsnett. Foto: Ağazadə Zəka .....	24
Figur 21. Fra byggingen av bærekonstruksjonen til Vikingskipet på Hamar. Foto: Mostue, Erik/Anno Domkirkeodden.....	25
Figur 22. Skjematisk skisse av limtreets kretsløp og produksjon (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). .....	26
Figur 23. Massivtreforbruk målt i $m^3$ (Lier og Aasheim, 2020). .....	29
Figur 24. Kantstilt massivtre-element (Aarstad og Glasø, 2018).....	29
Figur 25. Sjøkt i et krysslimt massivtre-element (Svenskt Trä, 2017). .....	30
Figur 26. Hulromselement (Aarstad og Glasø, 2018). .....	30
Figur 27. Produksjon av massivtre-elementer (Svenskt Trä, 2017). .....	31
Figur 28. Krymp i tangentiell, radiell og aksiell retning (Tronstad og Steiner, 2018).....	34
Figur 29. Blå pil er luftlyd, grønn pil er trinnlyd og rød pil er flanketransmisjon. Illustrasjon: Brekke & Strand Akustikk .....	37
Figur 30. Sammenligning av tidsbruk i byggeprosjekter ved bruk av stål og betong kontra massivtre (MTC) (Kremer og Ritchie, 2018). .....	42
Figur 31. Pris på tømmer det siste året. Illustrasjon: NAHB.org .....	45
Figur 32. Veggskive utsatt for tverrlast og trykklast (Svenskt Trä, 2017).....	52
Figur 33. Enkel laskeforbindelse (Karacabeyli og Gagnon, 2019). .....	54

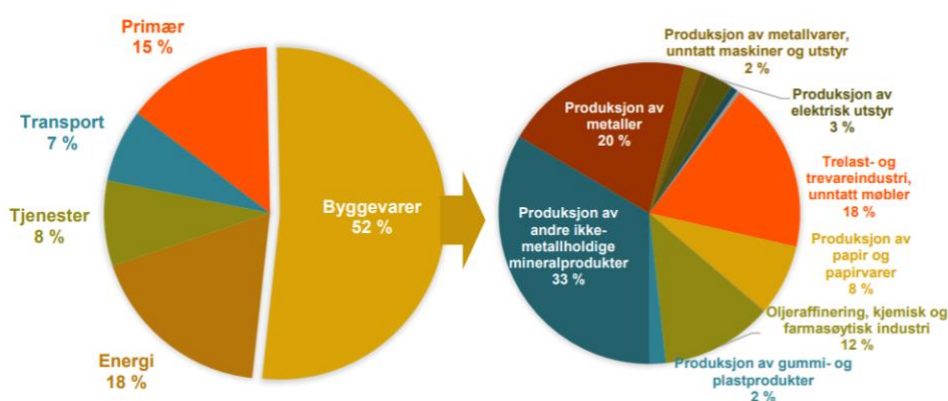
Figur 34. Forbindelse mellom veggelementer (Karacabeyli og Gagnon, 2019). .....	54
Figur 35. Vegg-til-vegg forbindelse med skrue (Karacabeyli og Gagnon, 2019). .....	55
Figur 36. Forbindelse mellom yttervegg, etasjeskiller og yttervegg (Karacabeyli og Gagnon, 2019). .....	55
Figur 37. Forbindelse mellom yttervegg og tak (Karacabeyli og Gagnon, 2019). .....	56
Figur 38. Forbindelse mellom yttervegg og fundament (Karacabeyli og Gagnon, 2019). ..	56
Figur 39. Mulig løsning for overgang innervegg og etasjeskiller (Svenskt Trä, 2017) .....	57
Figur 40. Opplevd bevissthet hos ulike bransjeaktører hos respondentene (Espinoza et al., 2016) .....	69
Figur 41. Barrierer som hindrer bruk av massivtre (Espinoza et al., 2016). .....	70
Figur 42. De viktigste forskningsområdene for massivtre (Espinoza et al., 2016). .....	71

# Tabelliste

Tabell 1. Vanlige fasthetsklasser, etter NS-EN 14081. ....	11
Tabell 2. Beregning for nedbøyning og moment i en toveisplate, med $\nu = 0,3$ (Larsen, 2004). ....	21
Tabell 3. Lavkarbonklasser og CO <sub>2</sub> -reduksjon (Unicon, u.å.). ....	25
Tabell 4. Produsenter av massivtre (Lier og Aasheim, 2020) ....	32
Tabell 5. Oversikt over lydreduksjonstall (Edwardsen og Ramstad, 2017). ....	38
Tabell 6. Oversikt over trinnlydnivå (Edwardsen og Ramstad, 2017). ....	38
Tabell 7. Ulike løsninger på etasjeskiller for lydkrav (Svenskt Trä, 2017). ....	39
Tabell 8. Ulike løsninger på vegg for lyd- og brannkrav (Svenskt Trä, 2017). ....	40
Tabell 9. Databaser og søkemotorer som ble benyttet. ....	46
Tabell 10. Benyttet søkestreng. ....	47
Tabell 11. Nedbøyning (mm) på tak og etasjeskiller. ....	53
Tabell 12. Valgte dimensjoner på 5-sjikts massivtre-elementer. ....	53
Tabell 13. Bevissthet rundt massivtre (Espinoza et al., 2016). ....	68
Tabell 14. Barrierer som hindrer bruk av massivtre (Espinoza et al., 2016) ....	69
Tabell 15. Kritiske forskningsområder (Espinoza et al., 2016). ....	70
Tabell 16. Informantene og prosjektene. ....	78
Tabell 17. Motivasjonen bak bruk av massivtre. ....	79
Tabell 18. Vurdering ved valg av bæresystem. ....	80
Tabell 19. Klima og miljø. ....	81
Tabell 20. Økonomi og lønnsomhet. ....	81
Tabell 21. Tekniske utfordringer. ....	82
Tabell 22. Prosjekteringsfase. ....	84
Tabell 23. Byggefase. ....	86
Tabell 24. Drifts- og bruksfase. ....	89
Tabell 25. Opplevd kunnskap og holdning i bransjen. ....	91
Tabell 26. Myndighetspåvirkning. ....	93
Tabell 27. Øke bruk av massivtre. ....	94
Tabell 28. Trend. ....	95

# 1. Introduksjon

Gjennom Parisavtalen har Norge forpliktet seg til å redusere sine klimagassutslipp, og har i sitt forsterkede utslippsmål vedtatt å redusere utslippene med opp mot 55% innen 2030 sammenlignet med 1990-nivået (Klima- og miljødepartementet, 2020). I 2017 sto bygg- og anleggsbransjen for 15,3% av det totale klimagassutslippet i Norge (Asplan Viak, 2019). En stor del av disse utslippene kommer fra produksjonen av byggevarer, se figur 1. Fremstilling og produksjon av sement, ferrolegeringer og aluminium er store utslippskilder i industrien, og blir brukt i stort omfang i bygg- og anleggsbransjen (Bygg21, 2018).



Figur 1. Klimagassutslipp fra bygg- og anleggsbransjen, og produksjon av byggevarer (Bygg21, 2018).

Byggenæringen har dermed et stort ansvar for å bidra til at Norge skal nå sine klimamål, ved å redusere egne utslipp (Bygg21, 2018). Ved å øke andelen byggverk i tre, vil klimagassutslippene reduseres. Næringens innkjøpskrav vil derfor ha stor betydning for bransjens klimagassutslipp (Bygg21, 2018).

Trevirket har i Norge vært det viktigste byggematerialet over flere hundre år, og det eksisterer en stor treindustri (Treindustrien, u.å.). 90% av norske skoger er sertifisert i henhold til internasjonale standarder for bærekraftig skogbruk (Aarstad og Glasø, 2018). Teknologien rundt trevirke har utviklet seg stort siden husene ble bygget med laft. Det eksisterer nå innovative løsninger som kan gi treprodukter flere anvendelsesområder, blant annet som bæring i store bygninger og bruer. Limtre og massivtre-elementer er to slike nyvinninger. Gruppen ønsket å se på tre som byggemateriale, og bestemte seg tidlig for å fokusere på massivtre. Videre ble gruppen interessert i hvorfor massivtre benyttes lite i bransjen i dag. Treprodukter krever lite energi i fremstillingsprosessen, og mye av energien som benyttes er klimanøytral (Aarstad og Glasø, 2018). Livssyklusanalyser viser også at ved bruk av massivtre kontra betong kan man redusere klimagassutslippene med opptil 84% (Skullestad, Bohne og Lohne, 2016).

Likevel har antallet store prosjekter der massivtre benyttes som bæresystem økt de siste årene (Innovasjon Norge, 2015). Der det tidligere bare var bindingsverk tilgjengelig for å bygge høyhus, har nå limtre og massivtre vist at bæring i tre er fullt mulig i høye og store bygg (Kuilen *et al.*, 2011). Det bygges stadig høyere med trevirke, fra Moholt 50|50 på ni etasjer (Figur 2), til Treet i Bergen på 14 etasjer (Figur 3) og Mjøstårnet på 18 etasjer (Figur 4). I fremtiden planlegges det enda høyere bygninger, med det høyeste som Oakwood Timber Tower i London på hele 80 etasjer (Figur 5).



*Figur 2. Moholt 50|50 (Kebony, 2016).*





*Figur 3. Treet i Bergen. Foto: David Valleby*



*Figur 4. Mjøstårnet. Foto: Anne Bergsengene*





Figur 5. Tenkt plassering av Oakwood Tower i London (PLP Architecture, u.å.).

## 1.1. Bakgrunn

I 2015 ble Kvisgårdshjørnet totalskadd i en brann. Dette var en fredet bygning fra 1915 som lå plassert sentralt i Gjøvik. Forsikrings-selskapet hadde et krav om at bygget måtte gjenreises innen fem år. Gruppen ble fortalt av ekstern veileder i Syljuåsen at søknadsprosessen var langtekkelig. Det tok lang tid å få godkjent planene for det nye bygget, og innvilget igangsettelsestillatelse av kommunen. 22. november 2019 fikk prosjektet igangsettelsestillatelse og man kunne starte byggingen. En problemstilling som hadde dukket opp innen dette var tidsfristen; prosjektet måtte stå ferdig innen 20. august 2020. Det var i utgangspunktet et ønske om å gjenreise bygningen med tre som bærende konstruksjon, men på grunn av den korte tiden og usikkerhet rundt byggetekniske løsninger gikk man bort fra massivtre. Kvisgårdshjørnet ble derfor bygget med stål og betong som bærekonstruksjon. Dette var også den byggemetoden som var mest kjent hos Syljuåsen og gav derfor en større trygghet for ferdigstilling innen tidsfristen.

Med bakgrunn i valget av bæresystem har gruppen undersøkt om det hadde vært mulig å gjennomføre prosjektet med massivtre som bæresystem, både med tanke på tid og det konstruksjonstekniske. I tillegg har gruppen sett på hvorfor massivtre blir valgt bort, slik som tilfellet var her. Det er også interessant å undersøke hvilke kunnskaper og holdninger som finnes generelt i bransjen, og hvordan dette påvirker prosessen rundt valg av bæresystem.

## 1.2. Problemdefinering

Oppgaven tar utgangspunkt i Syljuåsen sitt opprinnelige ønske om å bygge Kvisgårdshjørnet med bæring i tre. På grunn av den stramme tidsplanen står bygget med bæring i stål og betong.

I litteraturinnhentingsprosessen ble gruppen overrasket over den lave bruken av massivtre, spesielt i privat sektor. Utbredelsen er større i offentlig sektor, men likevel et lite brukt materiale i Norge. Gruppen lurte derfor på om materialet var lite brukt fordi det er lite kjent, eller fordi det er veldig utfordrende og ikke gir økonomisk gevinst.

Til tross for at oppgaven ble til underveis, er det to spørsmål som har gått igjen siden gruppen tok kontakt med Syljuåsen: «Er det mulig å bygge Kvisgårdshjørnet med bæring i massivtre?» «Hvordan er kunnskapsnivået i bransjen angående bruken av massivtre?». Med bakgrunn i disse to spørsmålene kom gruppen frem til følgende problemstilling:

**Hvordan øke bruken av massivtre som bærende konstruksjon? Sett i lys av Kvisgårdshjørnet på Gjøvik.**

Med utgangspunkt i problemstillingen ser gruppen på utviklingen av kunnskap og anvendelse frem til i dag, og prøver å samle kunnskap for å si noe om fremtidig bruk av massivtre.

## 1.3. Avgrensninger

Underveis har gruppen kommet inn på flere interessante temaer man kunne ha gått videre inn på, men har på grunn av oppgavens omfang og tidsbegrensning måttet sette avgrensninger underveis. Felles for begge delene av oppgaven er at gruppen presenterer og setter ulike resultater opp mot hverandre, men ikke går inn på årsakene til de ulike resultatene.

I den første delen av oppgaven har gruppen valgt å beregne dimensjonene til taket på en hjørneleilighet, en etasjeskiller i andre etasje, og en yttervegg mellom andre- og tredjeetasje. Gruppen har ikke beregnet eller kontrollert for ulykkeslast, seismikk eller vibrasjon. Også beregninger rundt forbindelser er utelatt, men gruppen redegjør for mulige løsninger som kan benyttes i de betraktede områdene av bygningen. Det er vanlig å benytte ulike dataprogram for lastberegninger og dimensjoneringer, men det har gruppen valgt å ikke gjøre. Det norske programmet Focus Konstruksjon av Focus Software AS er riktignok benyttet til å modellere bygningen, men ikke brukt for å kontrollere eller dimensjonere. Dette er fordi gruppen ikke er kjent med programvaren, og ville brukt lang tid på å verifisere de resultatene programmet ville gitt.

I Del 2 av oppgaven går gruppen inn i en kvalitativ forskningsdel hvor informanter fra bransjen intervjues. På grunn av begrenset tid, måtte gruppen begrense antall informanter. Det ble derfor lagt opp til to informanter fra fire roller i bransjen. Rollene som ble valgt ut var entreprenører, konsulenter, leverandører og byggherrer. Gruppen anså disse som mest aktuelle for oppgaven.

## 1.4. Oppgavens struktur

Rapporten består av to deler. Del 1 fokuserer hovedsakelig på beregninger av massivtre. Teorien tar for seg treets egenskaper, stål, betong, limtre, massivtre og beregningsprinsipper. Metodekapittelet beskriver hvordan gruppen har arbeidet med innhenting av litteratur. Dimensjoneringskapittelet omhandler teori som danner grunnlaget for beregninger. Detaljerte beregninger finnes i Vedlegg 1. Deretter diskuteres resultatene, sett i lys av valgene som har blitt gjort i dimensjoneringen. I siste kapittel blir gruppens konklusjoner presentert.

Del 2 tar for seg intervjuene gruppen har gjennomført med bransjen. Aktuell litteratur for å belyse problemstillingen presenteres i teorikapittelet for denne delen av oppgaven. Deretter kommer en redegjørelse for valg av metode. Resultatene fra de gjennomførte intervjuene blir presentert i påfølgende kapittel. Dette kommer før en diskusjon av resultatene som blir sett i lys av teori redegjort for i både Del 1 og Del 2. Til slutt presenteres gruppens konklusjon, og forslag til veien videre.

Instituttet krever minimum ett kapittel om innovasjon, utvikling, forskning eller entreprenørskap. Gruppen har i samråd med intern veileder kommet frem til at dette kravet dekkes gjennom Del 2 av Bacheloroppgaven, hvor gruppen har gjennomført intervjuer med bransjen.

# Del 1

---

## 2. Teori

I dette kapitlet redegjøres det for relevant informasjon som er nødvendig for å kunne besvare problemstillingen. Dette danner grunnlaget for videre diskusjon av resultatene som er funnet i oppgaven.

### 2.1. Tre som byggemateriale

Trevirke har en komplisert struktur, hvor luftfuktighet og belastning på materialet påvirker styrkeegenskapene (Svenskt Trä, 2017). I Norge bygges de fleste småhus med bindingsverk som bærekonstruksjon (Thue, 2014). Med nye produkter av tre, slik som massivtre, kan også større bygninger benytte tre som bærekonstruksjon. I underkapitlene belyses treets historie, oppbygning og egenskaper.

#### 2.1.1. Historie og miljø

I Kucera og Næss' bok *Tre. Naturens vakreste råstoff* blir treets utbredelse presentert. I verden finnes det mer enn 70 000 forskjellige treslag. I Norge har vi 23 viltvoksende treslag, hvor gran og furu er mest utbredt. Ca. 75% av det produktive skogarealet i Norge består av gran og 20% består av furu. I dag brukes tre til ulike industrielle formål, blant annet papirproduksjon, treprodukter og bygningskomponenter (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017).

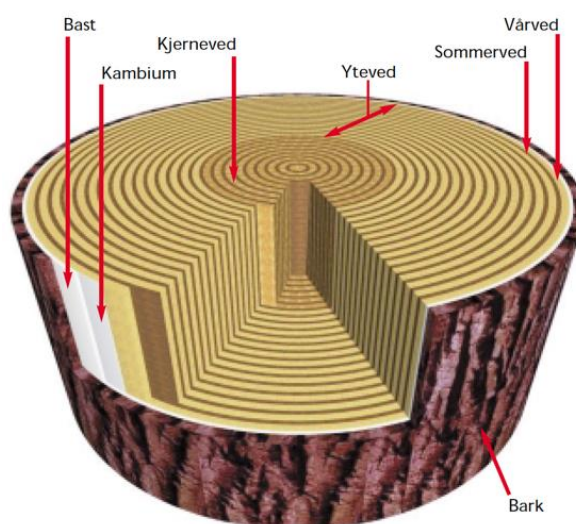
Bruken av tre som byggemateriale strekker seg langt tilbake i tid. I Europa har tre blitt benyttet de siste 4000 årene. Treet har på grunn av sine konstruktive egenskaper vært et egnet materiale å bruke ved bygging av tak (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). I Norge ble tre brukt blant annet til bygging av stavkirker. Den største av dem er Heddal Stavkirke ved Heddalsvatnet i Notodden Kommune (Anker, 2020).

Ifølge TreFokus sin publikasjon *Tre og Miljø* i serien *Fokus på tre*, defineres tre som et fornybart byggemateriale, forutsatt at det anvendes på riktig måte (TreFokus, 2004). Dette innebærer at skogen skal høstes på en balansert og forsvarlig måte, slik at tilveksten og avvirkningen er i balanse. På denne måten har man en utømmelig råstoffkilde (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Med en positiv tilvekst av trær kan man fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, da trær absorberer og omdanner CO<sub>2</sub> til biomasse via fotosyntesen (TreFokus, 2004). De fleste trematerialer er i tillegg lette å gjenbruke. Restprodukter kan resirkuleres til byggematerialer som kryssfiner, parallellfiner, trefiberplater eller sponplater. Ved gjenvinning kan trematerialene også brennes uten uheldige miljøutslipp. Energien kan brukes til fjernvarme (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017).

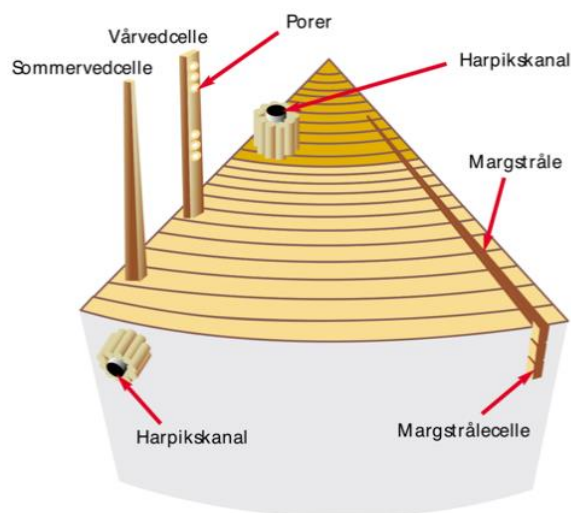
### 2.1.2. Treets oppbygning

For at et tre skal kunne vokse er det avhengig av tilgang til blant annet CO<sub>2</sub>, lys, varme og fuktighet. Frøet inneholder alle de egenskapene og særpreget treet vil vokse opp med, og er i tillegg stedeignet. Dette betyr at planten ikke nødvendigvis kan flyttes og overleve i nye omgivelser med andre vekstbetingelser (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Trevirket har en meget komplisert struktur hvor hvert treslag har sin egen karakteristiske oppbygning. Selv innenfor samme treslag vil man ikke finne to identiske trær (Skaug, 2018).

Treet er i hovedsak bygget opp av bark, bast, yteved, kambiet og kjerneved, som vist på figur 6 og figur 7 (Skaug, 2018). De ulike lagene har sine karakteristiske egenskaper. Barken, som er laget av døde celler, skal beskytte vekstlagene innenfor. Bast, som er levende celler, skal transportere byggestoffer nedover i treet. Yteveden består av vårved og sommerved, og transporterer vann og næringsstoffer oppover i treet. Kambiet består av celler som kan dele seg og avsette nye lag av vedvevet (Skaug, 2018; Sandaker, Sandvik og Vik, 2017)



Figur 6. Treets oppbygning, her vist oppbygningen av bartrær (Skaug, 2018).



Figur 7. Treets ulike lag (Skaug, 2018).

### 2.1.3. Treets egenskaper

Generelt har tre mange viktige egenskaper som avhenger av flere faktorer. Svenskt Trä har utgitt en håndbok med navn KL-trähåndbok (2017) som går inn på noen av de viktigste egenskapene. Tre er et inhomogent materiale, noe som innebærer at oppbygningen og egenskapene vil variere både innad i samme komponent, og mellom ulike komponenter. Ortotropien, vinkelen mellom spenninger og fiberretningen, vil ha stor innvirkning på styrkeegenskapene (Svenskt Trä, 2017). Luftfuktigheten og belastningen på konstruksjonen påvirker også styrkeegenskapene. Dersom luftfuktigheten og belastningen øker, vil styrkeegenskapene svekkes. For å utjevne disse variasjonene og minske egenskapsforskjellene, kan det blant annet bygges massivtre-elementer ved hjelp av krysslagte lameller. I likhet med andre konstruksjonselementer bygget i tre, er det stivheten som oftest er den dimensjonerende verdien for massivtre (Svenskt Trä, 2017).

En av fordelene ved bruk av tre som bæresystem er de forutsigbare egenskapene når det gjelder brann. Ofte vil en grov trebjelke være bedre brannteknisk enn en uisolert stålbjelke. Dette er fordi stålets fasthet vil avta raskt ved høy varme, mens trebjelken vil få en langsom tverrsnittsreduksjon og beholde mye av sin bæreevne i relativt lang tid (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017).

De ulike treslagene benyttes til ulike formål basert på deres egenskaper. I Sandaker, Sandvik og Viks *Materialkunnskap* (2017) oppsummeres de viktigste egenskapene og bruksområdene til de forskjellige treslagene. Gran er et treslag som egner seg godt til bruk i konstruksjoner, kledning, takteking og limtre på grunn av sine egenskaper som bløt, elastisk, og lett å lime og male. En annen tresort som egner seg godt til bruk i konstruksjoner er furu. Den har god fasthet og er i tillegg lett å kløyve og bearbeide, og kan trykkimpregneres. Dette gjør at furu også egner seg godt til gulv, vinduer, dører, kledning og fundamenter under bakken.

### 2.1.4. Fasthetsklasser

Konstruksjonsvirke fås i forskjellige fasthetsklasser, og er definert i standarden NS-EN 338. Den lister opp de karakteristiske egenskapene til de ulike fasthetsklassene. For at trelast skal kunne klassifiseres må det sorteres. Dette kan gjøres ved å måle og bedømme ulike egenskaper, enten manuelt eller ved hjelp av maskiner (Øvrum, 2012). Sorteringen må gjøres i henhold til NS-EN 14081. Norsk Trelastkontroll er en frivillig sammenslutning av leverandører av trelast som pålegger seg selv kvalitetskontroll for å sikre at sorteringen skjer i henhold til NS-EN 14081 (Øvrum, 2012). Medlemmene kan benytte trelastkontrollens merke på sin trelast, som er et stempel som beviser kvaliteten på trelasten.

Det finnes mange ulike fasthetsklasser, med ulik betegnelse basert på tresorten. Mest brukt i Norge er poppel og bartre som har prefikset C, men også løvtre kan benyttes med prefikset D. De mest brukte fasthetsklassene er tabulert i tabell 1.

Tabell 1. Vanlige fasthetsklasser, etter NS-EN 14081.

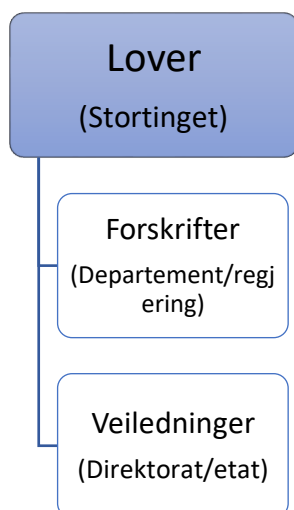
<b>Fasthetsklasse</b>	<b>Bøyefasthet</b> <i>N/mm<sup>2</sup></i>	<b>Elastisitetsmodul</b> <i>kN/mm<sup>2</sup></i>	<b>Densitet</b> <i>kg/m<sup>3</sup></i>
C14	14	7	290
C18	18	9	320
C24	24	11	350
C30	30	12	380

## 2.2. Lover og regler for byggenæringen

Byggenæringen er styrt av mange lover og regler som setter grenser for hvordan byggeprosessene skal foregå. Figur 8 viser rangeringen av lover, forskrifter og veiledninger som har til hensikt å regulere og gi råd til byggebransjen. I tillegg til disse offentlige reguleringene, finnes det også private aktører som utarbeider løsninger i tråd med de offentlige kravene. Norsk standard og SINTEFs Byggforskserie er eksempler på slike private aktører.

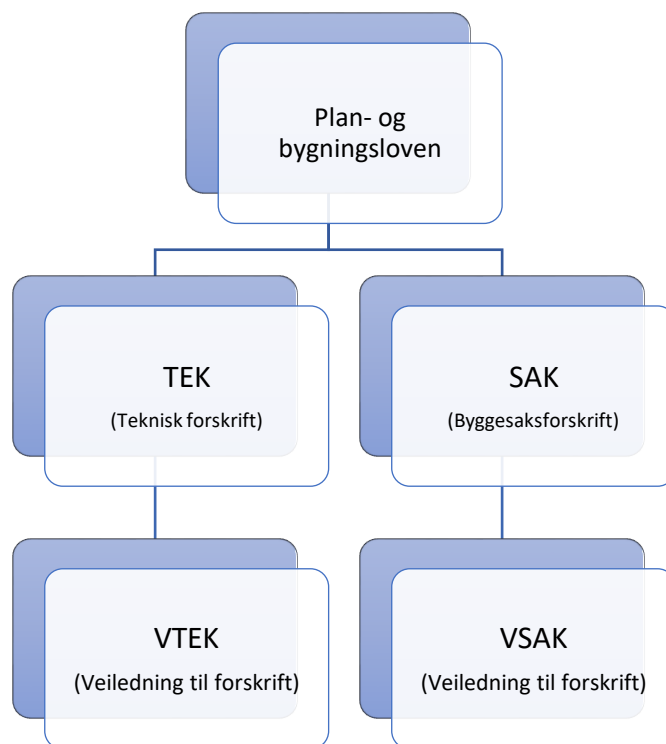


### 2.2.1. Norges lover



I 1814 ble Grunnloven vedtatt på Eidsvoll. Denne la grunnlaget for hvordan Norge skulle styres, om monarkiet og om religionen (Grunnloven – GrI, 2020). Stortinget kan vedta, endre og oppheve Norges lover. Etter at Stortinget har vedtatt lover, er det regjeringen som utarbeider forskrifter. En forskrift er utfyllende regler som mer detaljert forklarer lovens bestemmelser. Disse blir vedtatt av departementet eller Kongen i statsråd. I tillegg til forskriftene utarbeidet av regjeringen, gir departementene og etatene ut egne veiledere. Disse skal rette seg mot et bredere publikum og orientere om departementets politikk og praksis (Regjeringen, 2019).

Figur 8. Rangering av lover, forskrifter og veiledninger.



Figur 9: Oversikt over lover, forskrifter og veiledninger.

### 2.2.2. Lov om planlegging og byggesaksbehandling

Den viktigste loven i bygge- og anleggsbransjen er Lov om planlegging og byggesaksbehandling, også kalt plan- og bygningsloven. Denne loven omfatter byggesaksbestemmelser, planbestemmelser og materielle krav til byggverk (SINTEF Byggforsk, 2016c). Den bestemmer hvordan landets arealer skal brukes og reguleres, for å kunne planlegge arealbruken på en effektiv og rasjonell måte (Plan- og bygningsloven – pbl, 2008).

I forbindelse med plan- og bygningsloven har det blitt utarbeidet flere forskrifter. To av disse er Byggteknisk forskrift (TEK17), og Byggesaksforskriften (SAK). Disse, sammen med veilederne, går nærmere inn på og forklarer reglene i plan- og bygningsloven.

### *2.2.3. Byggteknisk forskrift og Byggesaksforskriften*

Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) er et nasjonalt kompetansesenter for bygningsområdet som er underlagt Kommunal- og moderniseringsdepartementet (Direktoratet for byggkvalitet, 2016). Det er en sentral myndighet på flere områder innenfor plan- og bygningsloven. DiBK har to hovedmål som skal oppfylles: sikre miljøvennlige og tilgjengelige boliger og bygg, og forutsigbare regler for effektiv ressursbruk i byggeprosessen.

Ett av virkemidlene DiBK bruker for å nå disse målene, er jevnlig publisering og oppdatering av TEK17 og SAK. Den sist oppdaterte forskriften om tekniske krav til byggverk er TEK17. Denne kom ut i 2017 og forteller hvilke minimumskrav som gjelder for egenskapene til et byggverk som skal oppføres lovlig i Norge. Forskriften sier også noe om hvilke funksjonskrav byggene skal oppfylle, blant annet med tanke på tilgjengelighet i boligen og sikkerhet ved brann. Veilederen som følger med forskriften, VTEK, tolker de funksjonskravene som er gitt i TEK17 og gjengir dem som preaksepterte ytelser, som er forklart på side 38.

SAK utdyper hvilke tiltak som krever en søknad og et ansvarlig foretak. Forskriften sier også noe om søknadspliktige tiltak en tiltakshaver kan søke om, prosjektere og utføre selv, og hvilke tiltak som er unntatt søknadsplikten (SINTEF Byggforsk, 2016b). Den inneholder også retningslinjer for saksbehandlingen og for kontroll av prosjektering, og utførelse av søknadspliktige tiltak. Den sist oppdaterte forskriften om byggesak kom i 2010 og kalles SAK10 (Direktoratet for byggkvalitet, 2011). Forskriften om byggesak har også en veileder, VSAK, som forklarer forskriftens krav, utdyper innholdet i den og gir føringer for hvordan kravene skal etterkommes i praksis.

Disse forskriftene og veiledningene henviser også til Norsk Standard og SINTEFs Byggforskserie som inneholder nyttige verktøy, og illustrerer preaksepterte løsninger i henhold til de lovene, forskriftene og veiledningene som er utgitt.

### *2.2.4. Standardiseringsorganer*

ISO er en verdensomfattende sammenslutning av standardiseringsorganer, hvor Standard Norge er det norske medlemmet (Holtebekk, 2018). Under ISO ligger den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN, som utvikler og vedlikeholder europeiske standarder og spesifikasjoner (Hofstad, 2021). En standard er definert av ISO-standard ISO/IEC Guide 2:2004 Standardisering og beslektede aktiviteter – generelle termer (Hofstad, 2020) som:

*«Dokument til felles og gjentatt bruk, fremkommet ved konsensus og vedtatt av et anerkjent organ som gir regler, retningslinjer eller kjennetegn for aktiviteter eller resultatene av dem for å oppnå optimal orden i en gitt sammenheng».*

Norsk standard (NS) er en standard utviklet og utgitt av Standard Norge, og beskriver viktige deler av et produkt, tjeneste eller en arbeidsprosess (Hofstad, 2018). De europeiske Eurokodene, utgitt av CEN, er i dag blitt Norsk Standard (Standard Norge, u.å.). Det er i alt ti Eurokoder. Disse beskriver prosjektering med ulike byggematerialer, geoteknikk, seismikk og grunnlag for prosjektering.

Hver Eurokode med unntak av NS-EN 1990 har flere underdeler med spesielle tema for hver del, for eksempel brann teknisk dimensjonering. Eurokodene gir felles europeiske regler for prosjekteringen. Det er likevel flere områder som krever tilrettelegging for geografiske og klimatiske forhold. Dette gis i eget nasjonalt tillegg (NA) i hver av Eurokodene (Standard Norge, u.å.). Regler og krav i plan- og bygningsloven og TEK17 anses som oppfylt dersom det benyttes metoder og utførelse i samsvar med de ti Eurokodene (Standard Norge, u.å.)

SINTEF, som ble etablert i 1950, er et av Europas største uavhengige forskningsinstitutter (SINTEF, 2021). Det er SINTEF som utvikler og utgir anvisningene i Byggforskserien. Den gir dokumenterte løsninger og anbefalinger for blant annet prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger som tilfredsstiller kravene i TEK17. Det er ikke et lovverk, men det er innarbeidet i bygge- og anleggsbransjen som en rettesnor for god byggeskikk og håndverksmessig utførelse (SINTEF Byggforsk, 2021).

### *2.2.5. Entrepriseformer*

Valget av entreprisemodell vil først og fremst være et valg av risikofordeling mellom byggherre og entreprenør. Det er vanlig å skille mellom to hovedtyper:

- Utførelsesentreprise, hvor entreprenør kun står ansvarlig for utførelsen og valg av arbeidsmetode
- Totalentreprise, hvor totalentreprenør har ansvar for både prosjektering og utførelse

## 2.3. Konstruksjonskomponenter

De fleste konstruksjoner er bygget opp av ulike konstruksjonskomponenter, satt sammen til et system som skal ta opp ytre laster og tilfredsstillere funksjonskrav (Larsen, 2004). En bærekonstruksjon sørger for styrke og stivhet, og fører påførte krefter ned i grunnen (Thue, 2014). Bærekonstruksjoner kan danne bygninger, tunneler og bruer, og disse kan igjen bestå av flere bæresystemer. For et bygg kan bæresystemet blant annet være takkonstruksjon, etasjeskiller eller bærende vegger. For at det skal være et bæresystem

må det kunne ta opp krefter i horisontal og vertikal retning (Thue, 2014). Bæresystemets utforming bestemmes av funksjonskrav, estetikk, grunnforhold og økonomi (Larsen, 2004).

De neste underkapitlene vil redegjøre for ulike konstruksjonskomponenter, deres virkemåte og hvilke materialer som tradisjonelt benyttes.

### *2.3.1. Staver og fagverk*

En stav er en komponent hvor dimensjonen i én retning er vesentlig større enn i de andre retningene (Larsen, 2004). Staven overfører kun aksialkrefter, og er vanligvis en del av et fagverk eller andre avstivningssystemer (Larsen, 2004). Fagverk er flere staver forbundet med knutepunkter til en to- eller tredimensjonal konstruksjon. Dette er et effektivt system som har stor styrke i forhold til egenvekten (Larsen, 2004). Et fagverk kan være utført i blant annet tre, stål eller aluminium. Det kan benyttes i flere konstruksjoner der det er ønskelig med høy styrke og lav egenvekt. Eksempler på dette er vist i takkonstruksjonen på figur 21 og brukonstruksjonen på figur 10.



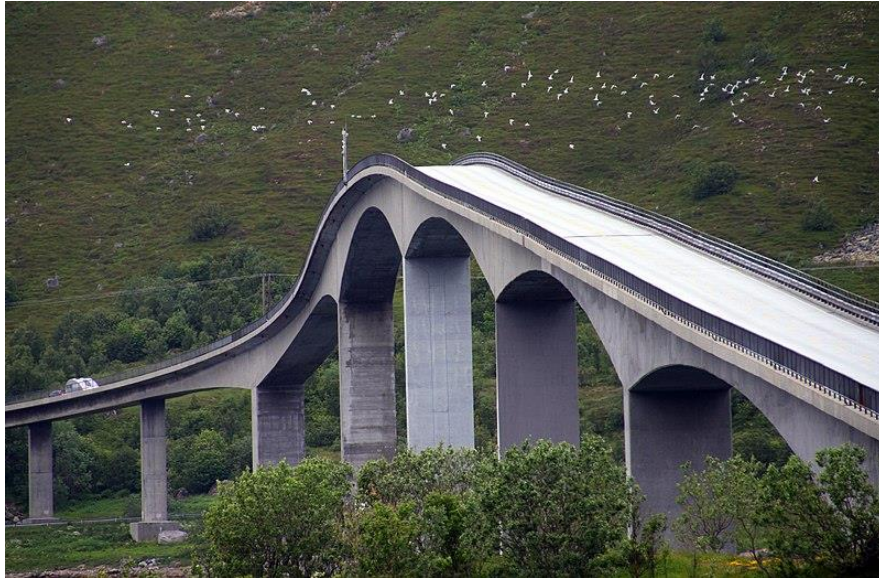
*Figur 10. Bergsøysundbrua med fagverk i stål. Foto: broer.no*

### *2.3.2. Bjelker og rammer*

En bjelke er en endimensjonal komponent som i hovedsak bærer ytre laster på tvers av sin lengderetning (Larsen, 2004). Dette i motsetning til en stav som bærer laster i lengderetning. Bjelken er det vanligste elementet i både tre-, stål- og betongkonstruksjoner (Larsen, 2004). Tverrsnittsgeometrien vil være avhengig av materialet som benyttes. Stål kan vales og formes i ulike profiler, betongbjelker kan være slakk- eller spennarmert med variert høyde i lengderetning, og for trevirke er bjelker av

limtre vanlig (Larsen, 2004). I nyere tid har også aluminium vist seg å være et egnet materiale, da aluminiumprofiler kan ekstruderes for å utnytte materialegenskapene maksimalt (Almar-Næss, 2021).

Bjelker benyttes i alle slags konstruksjoner, også i bruer. I Norge bygges det mange bjelkebruer i betong (Larsen, 2004), for eksempel Gimsøystraumbrua i Lofoten, se figur 11.



*Figur 11. Gimsøystraumbrua i Lofoten. Foto: Gerd Eichmann*

En rammekonstruksjon består av flere bjelker med vilkårlig orientering, som er satt sammen til en to- eller tredimensjonal konstruksjon (Larsen, 2004). Der en bjelke i utgangspunktet kun er utsatt for moment og skjærkraft, vil den på grunn av rammens forutsetning om knutepunkter som overfører moment, også bli utsatt for aksialkraft (Larsen, 2004). Figur 12 viser en rammekonstruksjon i stål.





Figur 12. Rammekonstruksjon i stål. Foto: Rogerio Moreira

### 2.3.3. Buer

Historisk sett ble buer benyttet som konstruksjonskomponent fordi man måtte benytte naturmaterialer som stein og tre. Da det ikke er mulig å overføre strekkspenninger mellom steinblokker, var man avhengig av en form som førte til at hele tverrsnittet ble utsatt for trykkspenninger, noe en bueform sørger for (Larsen, 2004). Et eksempel på en slik bru er Kylling bru på Raumabanen fra 1923. Se figur 13.



Figur 13. Kylling bru. Buekonstruksjon av steinblokker. Foto: broer.no

I nyere tid er det ikke lenger slik at man må unngå strekkspenninger, og man trenger ikke optimalisere buens form for å hindre dette. Man ønsker likevel en parabel- eller bueform for å gi minst mulig bøyemoment (Larsen, 2004). Det er ikke praktisk mulig å oppnå null bøyemoment i en bue, da randbetingelser og lastfordeling sørger for en viss

momentbelastning. Buekonstruksjoner påfører fundamentene store horisontalkrefter, så det er viktig at grunnforholdene tillater dette (Larsen, 2004). Buekonstruksjoner kan bygges med flere ulike materialer, hvor både limtre, stål og betong fungerer godt. Se figur 14 for brukonstruksjon i betong med bue, og figur 15 for brukonstruksjon i limtre med bue.



*Figur 14. Betongbru formet som en bue. Foto: Eric Sakowski.*



*Figur 15. Limtrebru formet som en bue. Foto: Moelven.com*



### 2.3.4. Kabler og kabelsystem

Kabler er bygd opp av ståltråder som er spunnet sammen. Kablene har høy flytespenning, og har dermed høy bæreevne i forhold til vekt. Det benyttes derfor i konstruksjoner med store spenn (Larsen, 2004). Bøyestivheten er svært lav og kablene vil dermed i praksis ikke oppta bøyemoment, men ta alle ytre krefter som strekk (Larsen, 2004). Kabler benyttes i flere ulike konstruksjoner; hengebru, skråstagbru og kabelbane. Kabelsystem egner seg godt til å bære fordelte laster (Larsen, 2004). Figur 16 viser verdens lengste hengebru, Akashi Kaikyo i Japan, med et midtspenn på 1991m.

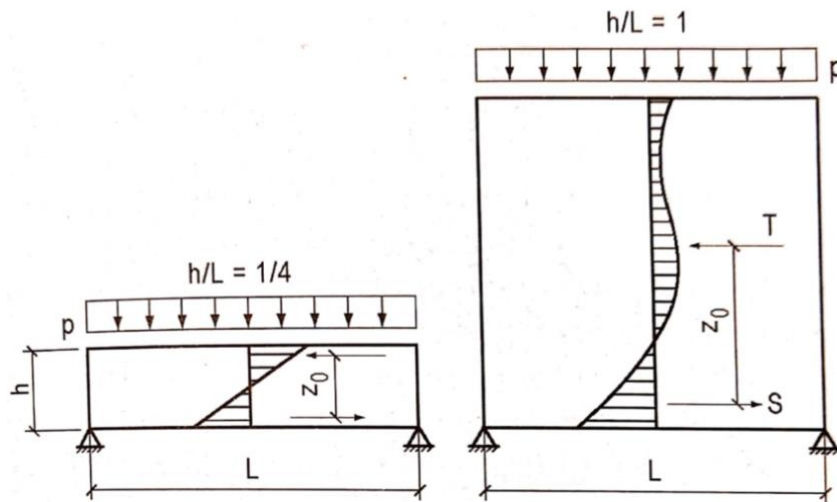


Figur 16. Akashi Kaikyo-brua i Japan. Foto: José S. Antunes do Carmo

### 2.3.5. Skiver og plater

En skive er et todimensjonalt, plant konstruksjonselement hvor tykkelsen er vesentlig mindre enn lengdedimensjonene i begge retninger (Larsen, 2004). For en skive virker alle krefter i skivens plan, og siden skiven er tynn antas det at spenningen i skivens tykkelse er lav og settes lik 0 i beregninger. Dette kalles en plan spenningstilstand (Larsen, 2004). I bjelketeori, som gjelder for lave bjelker, varierer bøyespenningen lineært over tverrsnittets høyde. Dette gjelder ikke for høye bjelker, som da kalles skiver; her varierer bøyespenningen ikke-lineært (Larsen, 2004), se figur 17. Skiver benyttes som avstivningselementer i høyhus.

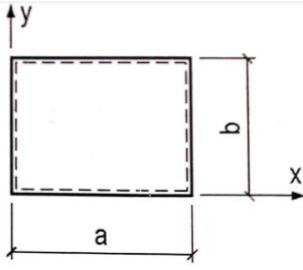




Figur 17. Forskjell i bøyespenning for lav bjelke og skive (Larsen, 2004).

I motsetning til en skive, er en plate belastet på tvers av eget plan (Larsen, 2004). En plate bærer lastene ved bøyning til opplagre i både x- og y-retning, og skiller seg dermed fra en bjelke som kun bærer i én retning (Larsen, 2004). Ved lastbæring oppstår indre spenninger, som for platen er bøyemomenter om x- og y-aksen, et torsjonsmoment om xy-aksen samt skjærkrefter i x- og z-retning. For plater oppgis snittkreftene som kraft per lengdeenhet og bøyemomentene som moment per lengdeenhet; en kan si at man snakker om intensiteten av snittkreftene (Larsen, 2004). Bøyespenningene varierer lineært gjennom tverrsnittets tykkelse, og skjærkreftene varierer parabelformet gjennom tykkelsen, som for en bjelke (Larsen, 2004). Forholdet mellom de to lengdedimensjonene i x- og y-retning er avgjørende for platens bæreevne. Et eksempel på dette er tabulert i tabell 2, og er gjengitt etter Larsen (Larsen, 2004). En kan observere at for  $\frac{a}{b} = \infty$  er det lite avvik både for bøyemoment og nedbøyning sammenlignet med en bjelke. Dette avviket blir større jo lavere forholdstall mellom de to dimensjonene er. Når  $\frac{a}{b} > 3,0$  antas det at all bæring skjer i den korteste spennretningen, og platen kalles en enveisplate (Larsen, 2004). Er verdien for dimensjonsforholdet lavere enn 3,0 kalles platen en toveisplate, og lasten bæres i begge retninger (Larsen, 2004). Ved dimensjonsforhold  $\frac{a}{b} = 2,0$  er momentene i x- og y-retning henholdsvis 81% og 37% av det maksimale momentet en enveisplate ville fått (Larsen, 2004).

Tabell 2. Beregning for nedbøyning og moment i en toveisplate, med  $\nu = 0,3$  (Larsen, 2004).

$a/b$	$w_{maks}$ $= \alpha \frac{qb^4}{D}$ $\alpha$	$M_{x,maks}$ $= \beta qb^2$ $\beta$	$M_{y,maks}$ $= \gamma qb^2$ $\gamma$	Forutsetning at $a > b$
1,0	0,00406	0,0479	0,0479	
1,6	0,00380	0,0862	0,0492	
2,0	0,01013	0,1017	0,0464	
3,0	0,01223	0,1189	0,0406	
4,0	0,01282	0,1235	0,0384	
5,0	0,01297	0,1246	0,0375	
$\infty$	0,01302	0,1250	0,0375	

Plater anvendes som etasjeskillere i bygninger, som brudekker, og for øvrig som konstruksjonsdeler i biler, skip og fly (Larsen, 2004). Stål, aluminium, både plaststøpt og prefabrikkert betong og massivtre er materialer som benyttes for platekonstruksjoner.

### 2.3.6. Skall

Et skall er et enkelt- eller dobbeltkrumb todimensjonalt konstruksjonselement, hvor tykkelsen er liten i forhold til de to lengdedimensjonene (Larsen, 2004). Skallet belastes i hovedsak med fordelte laster normalt på flaten, som bæres av snittkrefter som virker i skallets plan. Det oppstår også bøyemomenter som følge av opplagerbetingelser eller punktlaster. Bærevirkningen består av en såkalt membrantilstand med spenningsresultanter i x-, y- og xy-retning, og en bøyetilstand med momenter om x-, y- og xy-aksen samt skjærkrefter i x- og y-retning (Larsen, 2004). Et skall bærer dermed som både en skive og en plate, og krefter og momenter defineres per lengdeenhet.

Hvis de ytre lastene bæres av membrankreftene, har skall svært høy bæreevne i forhold til tykkelsen på materialet. En brusboks i aluminium har veggtykkelse på ca. 0,1mm, og en radius på 32,5mm, og har stor styrke med lite materialforbruk (Larsen, 2004). I større konstruksjoner er betong utbredt som materiale for skallet.

## 2.4. Stål

Stål er gunstig på grunn av egenskapene som styrke, forming, pris og sveisemulighet (Christensen og Almar-Næss, 2019). I byggebransjen er det vanlig å bruke stål i bæresystemer som søyler og bjelker, i tillegg til armering i betong. Som armeringsstål ble det fra 1900-tallet variasjon i ulike former og tverrsnitt (Thue, 2019a). I dag er armeringsstål med flytegrense  $500 \text{ N/mm}^2$  det eneste brukte (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017), men frem til 1952 var det vanligst med flytegrense  $200 \text{ N/mm}^2$  (Thue, 2019a).



Figur 18. Søylor av stål (SINTEF Byggforsk, 2018).

Fremstillingen av stål skjer ved raffinering av råstål og deles opp i fire trinn (Christensen og Almar-Næss, 2019):

- Fersking
- Desoksidasjon og legering
- Utstøping
- Valsing

Stål korroderer når det utsettes for vann og oksygen. Ved eksponering for sjøluft økes korrosjonen (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Tiltak for å redusere korrosjon kan være å dimensjonere rikelige tykkelser, sørge for at delene utsatt for korrosjon er lette å skifte ut, og overflatebehandle i form av elektrolytisk forsinking eller maling (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). I armert betong fungerer betongen som en korrosjonsbeskyttelse for stålet (Thue, 2019b). Da er det viktig å ha tilstrekkelig overdekning, avstand fra ytterkant betong til ytterkant armering (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Når stål eksponeres for korrosive miljøer, slik som sjøluft, bør overdekningen økes, skriver Sandaker, Sandvik og Vik (2017).

Stålproduksjonen er energikrevende, og står for 7% av verdens totale CO<sub>2</sub>-utslipp målt i ekvivalenter (Norsk Stål, u.å.). Industrien påstår at med ny teknologi reduseres utslippene betraktelig, og ved bruk av elektrisk lysbueovn kontra masovn, kan energiforbruket reduseres med 60% og CO<sub>2</sub>-utslippet med 70% (Norsk Stål, u.å.).

## 2.5. Betong

Målt i volum er betong det mest brukte byggematerialet i vår tid (Eie, 2012). Woodson (2012) trekker frem at det i 2004 ble produsert to milliarder tonn hydraulisk sement, slik som portlandsement som herder ved kontakt med vann. To milliarder tonn sement gir om lag 14-16 milliarder tonn betong. Betong består av sement, vann, tilslag og tilsetningsstoffer. Sement blir flytende når den blandes med vann, og fyller på den måten hulrommene mellom tilslaget. Med tilslag menes bergarter av ulike størrelser, slik som sand og grus som gir økt volum og tyngde av betongen. Tilslaget kan være fremstilt ved knusing eller forekomme naturlig, og utgjør ofte 60-75% av volumet (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Humus, slam, leire og andre kjemisk aktive stoffer bør ikke inngå i tilslaget, da de virker skadelige på betongens egenskaper (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Bergarter av bestandige materialer med høy fasthet egner seg godt som tilslag, og kornformen bør være mest mulig rund eller kubisk, forklarer Sandaker, Sandvik og Vik (2017). De skriver også at det bør være en god korngradering, altså at mange kornstørrelser inngår.

Betong som bæresystem kan være plasstøpt eller ferdig støpt på fabrikk. Uavhengig av metode trengs det forskaling og armeringsstål (Thue, 2019b). Forskalingen fungerer som en midlertidig støpeform til betongen har herdet. Fersk betong etser, og dette stiller krav



Figur 19. Hulldekke. Foto: Betongelement.no

til overflaten på forskalingen og verneutstyr (Brørs, 2019). Plasstøpt betong er den tradisjonelle metoden for betong, og gir stabilitet og mulighet for tilpasning (Hjelseng, 2014). Prefabrikkerte elementer er fremstilt på et annet sted enn plasseringen elementet skal ha i konstruksjonen (Standard Norge, 2018). Disse er vanlige for serieproduksjon av søyler, bjelker og dekkeelementer, men også når man ønsker rask fremdrift på byggeplassen (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Hulldekke-elementer er et prefabrikkert betongelement. Det har lav egenvekt i forhold til styrken og stivheten (Store norske leksikon, 2019). Den lave egenvekten kommer av gjennomgående runde kanaler i spennretningen (Store norske leksikon, 2019).

Tre har vært brukt som byggemateriale i lang tid (Eie, 2012), men etter man begynte med sementproduksjon og fremstilling av stål, ble det vanlig å bruke betong med skjærarmering (Thue, 2019b). Betongen tar trykkrefter, men trenger armering til å ta opp strekkrefter (Thue, 2019b). Betongen tar til en viss grad strekk, men det er så lite at det

neglisjeres i beregninger (Thue, 2019c). Armering kan også ta trykk, men det er mer økonomisk å bruke betong (Thue, 2019c). Armeringsstålet legges derfor på strekksiden, og det bøyes opp eller ned avhengig av hvor strekkpåkjenningene er størst (Thue, 2019c). Armert betong kan være slakkarmert eller spennarmert, og spennarmert betong kan være før- eller etteroppspent (Foss, Monrad og de Gala, 2018). Ved spennarmert betong blir armeringsstålet strekt. Hensikten er å overføre trykk i betongen før ytre belastning legges på. Dette kan begrense opprissing og redusere nedbøyning. Ved slakkarmert betong spenner man ikke opp armeringsstålet.



Figur 20. Betong som sprøytes over armeringsnett. Foto: Ağazadə Zəka

Calkins (2009) påpeker at betongens attraktivitet og store bruk fører med seg miljøkostnader. I produksjonen av betong kreves enorme mengder vann (Calkins, 2009). I tillegg til CO<sub>2</sub> slippes også CO, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> og HCl ut. Utslippet av CO<sub>2</sub> kommer av to grunner: den kjemiske omdannelsen av kalkstein ved kalsinering, og karbonbasert forbrenning. Calkins (2009) trekker på den annen side frem at tørrprosess, økt bruk av blandingssement som ikke krever prosessering i sementovn, og bruk av alternativ brensel er tiltak sementprodusenter tar i bruk for å kutte CO<sub>2</sub>-utslippet. Til tross for tiltakene står sementproduksjonen for 5% av det årlige CO<sub>2</sub>-utslippet samlet i verden (Calkins, 2009), og utgjør 90% av det totale utslippet i betongproduksjonen (Kvellheim, 2020). Lavkarbonbetong er konstruksjonsbetong som er produsert i samsvar med Eurokodene, men der det er gjort tiltak for å redusere klimagassutslippene (Unicon, u.å.). Lavkarbonbetongen deles inn i ulike klasser, der det er gjort tiltak på resept og bindemiddel for å oppnå variert grad av CO<sub>2</sub>-reduksjon, se tabell 3 (Unicon, u.å.).



Tabell 3. Lavkarbonklasser og CO<sub>2</sub>-reduksjon (Unicon, u.å.).

Lavkarbonklasse	Reduksjon i CO <sub>2</sub>	Kan brukes til	Tilgjengelighet
<b>B</b>	15%	Alle klasser	Alle fabrikker
<b>A</b>	36%	Alle klasser	Alle fabrikker
<b>Pluss</b>	51%	Alle fasthetsklasser, M60 og M90	I alle områder
<b>Ekstrem</b>	63%	Alle fasthetsklasser, M90, M60, M45 og M40	På prosjektbasis

## 2.6. Limtre

Limtre er laminert trevirke som formes som bjelker, buer eller lignende. Det er fremstilt ved å lime sammen bord med 20-50mm tykkelse, der fiberretningen er omtrent lik (Tronstad, 2019), og som på grunn av limet får fullt statisk samvirke (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Historisk sett har det vært flere varianter av limtre, helt tilbake til slutten av 1800-tallet i både Tyskland og Russland (Sandaker, Sandvik og Vik, 2017). Det man i dag kjenner som limtre ble utviklet i begynnelsen av 1900-tallet av tyskeren Otto Hetzer, og ble tatt til Norge i 1918 av Guttorm Brekke (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). På grunn av den store styrken i forhold til vekten, er det teknisk mulig å oppnå spenn på 150 meter med limtrekonstruksjoner (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Taket i Vikingskipet på Hamar har et fritt spenn på 96 meter med fire meter høye limtrebjelker i fagverk (Bryhn, 2020).

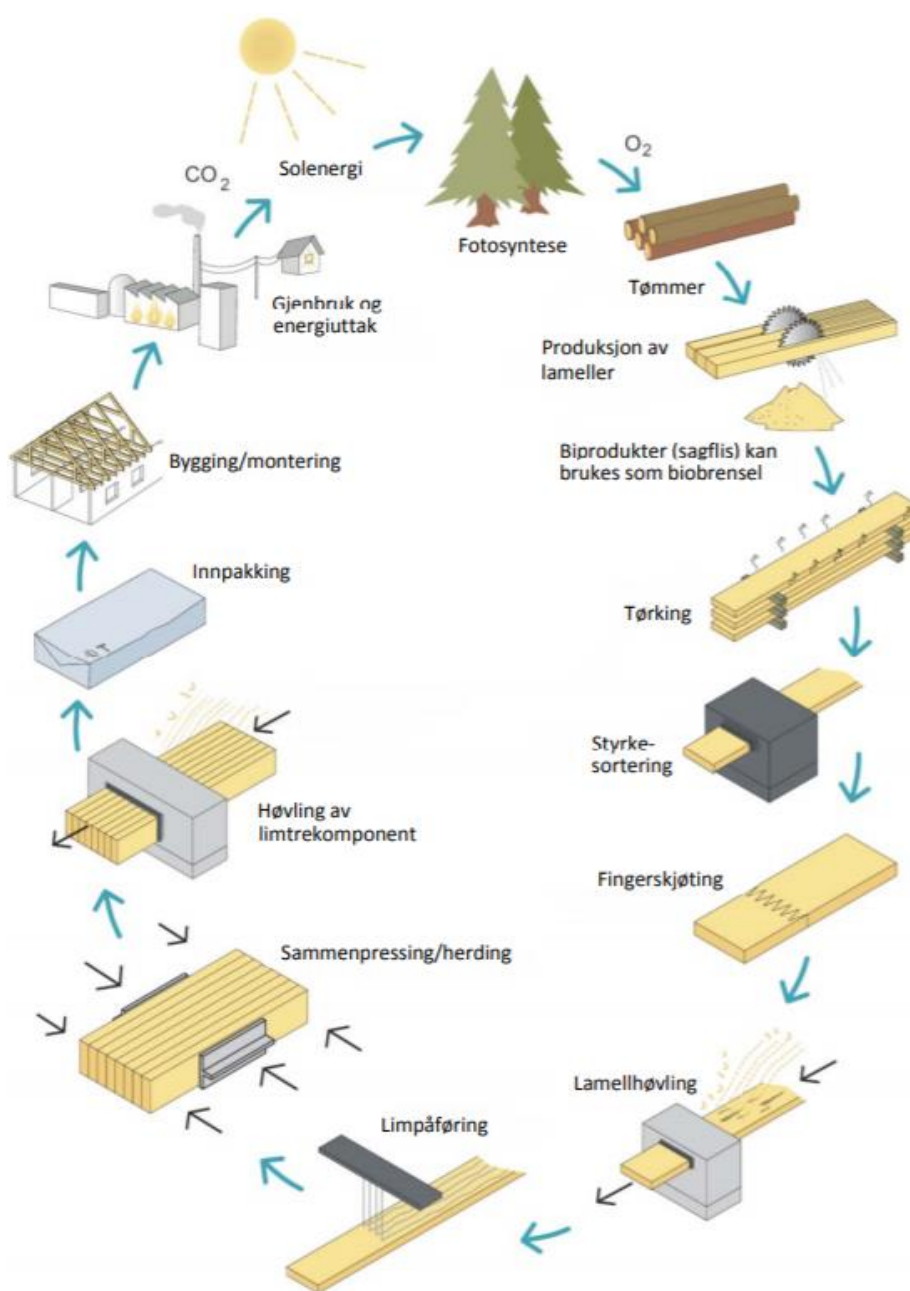


Figur 21. Fra byggingen av bærekonstruksjonen til Vikingskipet på Hamar. Foto: Mostue, Erik/Anno Domkirkeodden

Miljøbelastningen fra limtre er liten, og materialet kan anvendes om igjen, gjenvinnes eller brennes for energiproduksjon (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Selve produksjonen av limtreet har et lavt energiforbruk, og biproduktene fra produksjonen, sagflis og høvelspon, kan benyttes til energiproduksjon. Etersom limtreprodukter skreddersys til de ulike prosjektene blir det lite svinn, noe som er gunstig for miljøprofilen til produktet (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Limet produseres av ikke-fornybare råvarer og bidrar dermed til å dra miljøpåvirkningen i negativ retning, men

mengden som benyttes er så liten at det totale regnskapet blir godt; om lag én prosent av limtreets vekt er lim (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).

Limtre som byggemateriale er definert i Norsk Standard ved NS-EN 14080. Denne standarden fastsetter krav til egenskaper og fremstillingsmetoder. Når man snakker om limtre, dreier det seg dermed om et materiale som består av minst to lameller med tykkelse mellom 6mm og 45mm, hvor fiberretningen må sammenfalle med lengderetningen til komponenten i seg selv (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Produksjonen av limtre som byggemateriale er godt regulert for å sikre god og pålitelig kvalitet, og produksjonsmetodene er omtrent like over hele verden (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). En skjematisk fremstilling av produksjonen er gjengitt i figur 22.



Figur 22. Skjematisk skisse av limtreets kretsløp og produksjon (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).

Lamellene limtreet består av er styrkesortert konstruksjonsvirke, og for de nordiske landene er tresorten oftest gran (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Ved store fuktsvingninger i omgivelsene vil trykkimpregnerert furu også være aktuelt. Andre tresorter kan benyttes for estetisk verdi (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Fuktigheten i limtreet må være godt kontrollert. Fuktigheten skal være mellom 6% og 15% ved liming, og tilstøtende lameller skal ikke ha forskjell i fuktnivå på mer enn 5%. Dette for å sørge for at limfugen har optimal styrke, og samtidig hindre uheldig sprekke dannelse (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).

Limtre som bygges opp av lameller med lik styrkeklasse kalles homogent limtre. For å utnytte trevirket optimalt er det derimot lurt å bruke den høyeste kvaliteten i de ytre sjiktene hvor påkjenningen er størst, dette kalles kombinert limtre.

Limtreet sorteres i fasthetsklasser på samme måte som vanlig konstruksjonsvirke, hvor sifrene henviser til fasthetsklassens bøyestivhet. Forkortelsen GL står for *glulam*, og er den engelske betegnelsen på limtre. Den siste bokstaven, h eller c, betegner hvorvidt det er homogent eller kombinert limtre. Eksempler på fasthetsklasser er dermed GL24h, homogent limtre med bøyefasthet 24 N/mm<sup>2</sup>, og GL32c, kombinert limtre med bøyefasthet 32 N/mm<sup>2</sup>.

## 2.7. Massivtre

På 1990-tallet begynte utviklingen av nye byggesystemer i Mellom-Europa (Aarstad og Glasø, 2018). Et av disse nye byggesystemene var massivtre-elementer. Dette spredte seg etter hvert videre til Norden. Bruken av massivtre-elementer i Norden har i hovedsak vært knyttet til bygging av bygårder, skoler, industrilokaler og småhus (Svenskt Trä, 2017). Massivtre kan brukes både som bærende og ikke-bærende elementer, i gulv, vegger og tak. Bæresystemet kan kombineres med andre byggematerialer, eller bygges opp kun av massivtre-elementer (Aarstad og Glasø, 2018).

I oktober 2016 leverte Regjeringens ekspertutvalg sin rapport om grønn konkurransekraft til statsminister Erna Solberg, og daværende klima- og miljøminister Vidar Helgesen. En av anbefalingene i rapporten var at Norge bør øke bruken av tre i bygg. En av måtene de peker på for å klare dette er å videreutvikle standarder, og styrke samarbeidet mellom FoU-miljøene og treindustrien (Hedegaard og Kreutzer, 2016). Innovasjon Norge og Norsk Forskningsråd forvalter i dag flere programmer på vegne av myndighetene. Disse skal være med på å stimulere til innovasjon og utvikling. Ifølge Innovasjon Norges nettsider kan de støtte «alle bedrifter som arbeider for å øke bruken av tre» (Innovasjon Norge, u.å.). En bedrift kan, dersom den oppfyller visse kriterier, få tilskudd til delvis dekning av kostnader i et utviklingsprosjekt som bidrar til økt industrialisering av treteknologi.

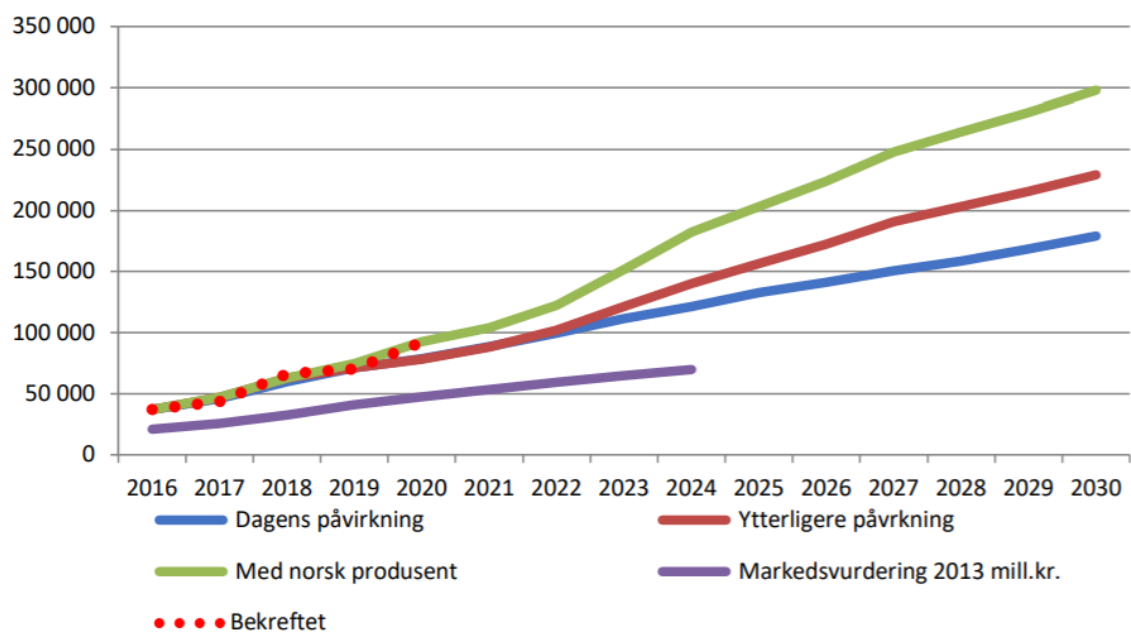


Visjonen er at Norge skal bli et forbilde for verdiskapende foredling, og komme med nye bruksområder for tre i byggenæringen (Landbruks- og matdepartementet, 2014).

Finstad (2014) har i sin masteroppgave sett på lønnsomheten ved å benytte massivtre som bærekonstruksjon. I den forbindelse ble det utført en case-studie hvor to prosjekter ble sammenlignet. Her kom det frem at Studentsamskipnaden i Østfold som byggherre fikk støtte av Innovasjon Norge for testing av løsninger knyttet til lydisolasjon og brannsikkerhet.

TreBruk AS, ved Lier og Aasheim, utførte i 2020 en analyse av massivtre markedet for perioden 2020-2030. Analysen er utarbeidet med utgangspunkt i tall fra SSB, kjente leveranser og prosjekter, ved hjelp av Tre drivernettverket til Innovasjon Norge, samt TreBruk AS sin egen kjennskap til markedet. Analysen viser at i de markedssegmenter som er undersøkt, er andelen prosjekter utført i massivtre i 2020 kun 3,7%. Rapporten redegjør for de ulike segmentene, og det konkluderes med at i 2030 kan denne andelen bli 14,2%. I mange segmenter forventes det stor vekst, men det antas beskjeden vekst i leilighetsbygg, eneboliger og hytter. For eksempel oppgis massivtre å ha en andel på 70% i studenthybler i 2020, som forventes å øke til 90% allerede i 2024. Bruken i leilighetsbygg forventes å øke med 2% i året, fra 2019 til 2030. Eneboliger finnes det ikke direkte tall for, men andelen er lav per 2020 og forventes lav frem til 2030.

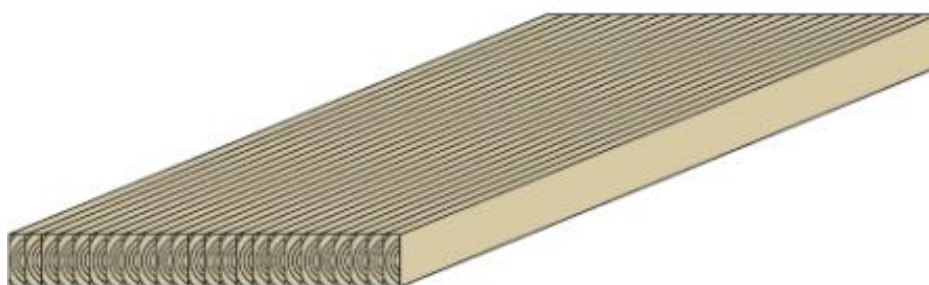
Figur 23 viser forventet utvikling i forbruket av massivtre totalt, målt i m<sup>3</sup>. Grafen viser tre scenarioer for utviklingen frem til 2030, skissert ved blå, rød og grønn linje. Den blå linjen representerer forventet økning i forbruk dersom dagens utvikling fortsetter. Rød linje viser forventet økning dersom myndighetene setter krav til klimagassutslipp i alle nye bygg. Den grønne representerer utviklingen som forventes med økt norsk produksjon i tillegg til myndighetskrav, og viser at forbruket kan tredobles sammenlignet med tall fra 2020. I diagrammet presenteres også en lilla linje, som viser markedsutviklingen som ble antatt i 2013, for perioden 2016-2024. Den rødprykkede linjen er bekreftede tall analysen baserer seg på.



Figur 23. Massivtreforbruk målt i m<sup>3</sup> (Lier og Aasheim, 2020).

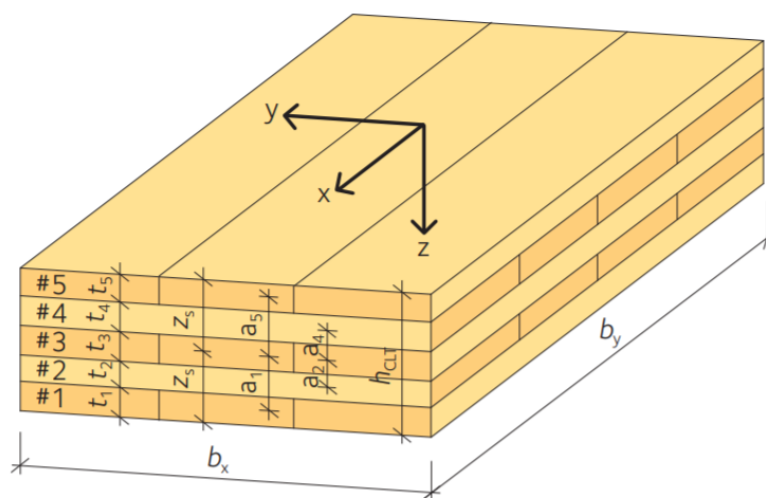
### 2.7.1. Massivtre-elementer

Det er vanlig å dele massivtre-elementer inn i fire ulike kategorier: kantstilte elementer, krysslagte elementer, hulromselementer, og samvirke-elementer. Aarstad og Glasø (2018) går inn på oppbyggingen av de ulike typene massivtre-elementer. En av kategoriene er kantstilte elementer, som består av stående lameller. Disse kan festes sammen ved hjelp av skruer, spiker, lim, tredybler eller stålstag, se figur 24.



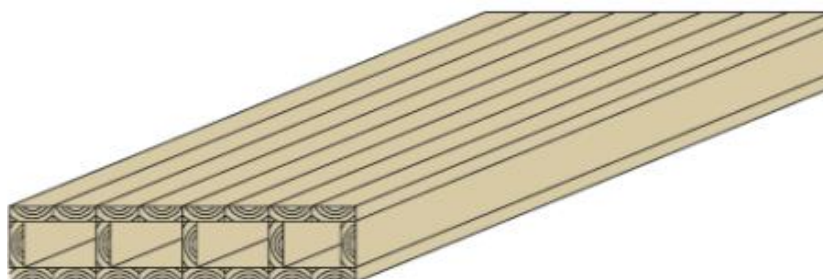
Figur 24. Kantstilt massivtre-element (Aarstad og Glasø, 2018).

Krysslagte elementer settes sammen i flere sjikt, hvor lamellene blir plassert 45 eller 90 grader på hverandre ved bruk av lim eller tredybler. Figur 25 viser et krysslagt massivtre-element med lameller 90 grader på hverandre.



Figur 25. Sjikt i et krysslimt massivtre-element (Svenskt Trä, 2017).

Hulromselementer finnes i flere varianter, men det som kjennetegner disse er at det finnes et hulrom mellom det øvre og nedre sjiktet (Aarstad og Glasø, 2018), se figur 26.

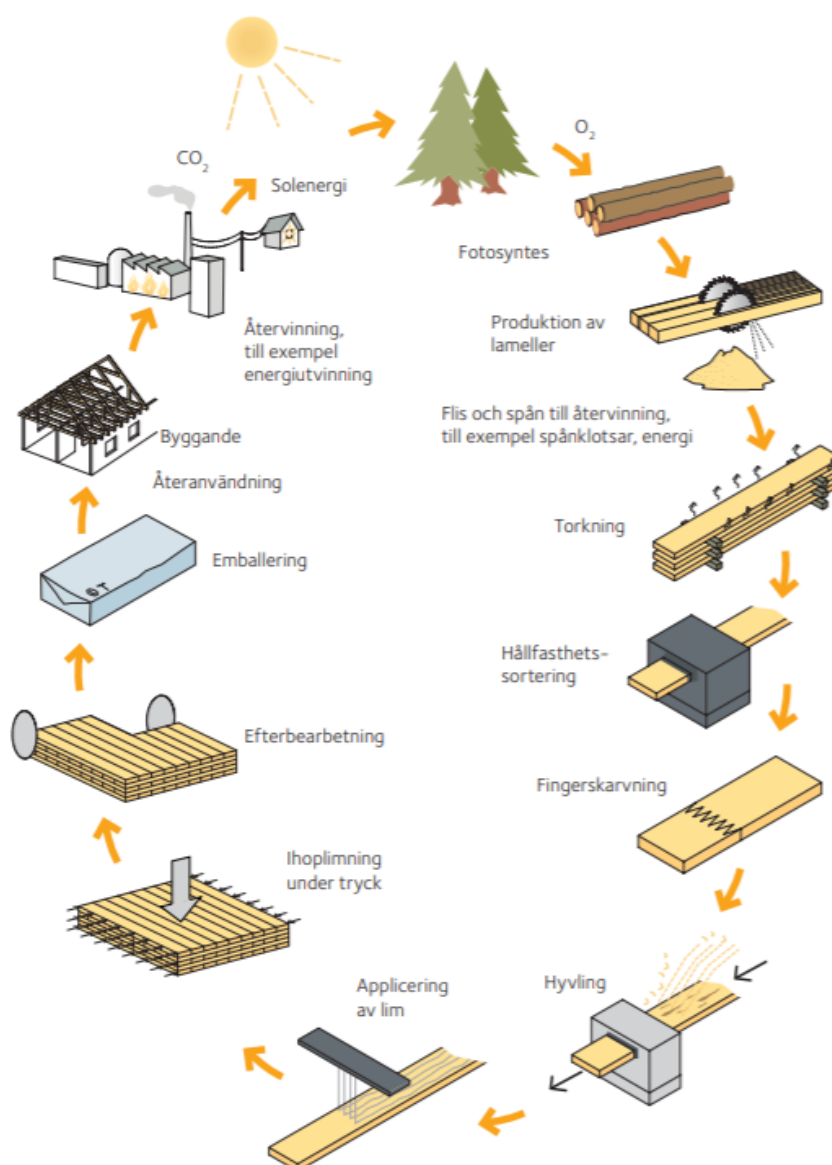


Figur 26. Hulromselement (Aarstad og Glasø, 2018).

Den siste kategorien er samvirke-elementer. Disse elementene danner ikke et massivt tretverrsnitt, men andelen trevirke er så høy at dette ansees som massive treelementer (SINTEF Byggforsk, 2001). Samvirke-elementene består av overliggende eller underliggende avstivere. En betongpåstøp eller et bjelkelag kan være eksempler på overliggende avstivere, mens limtrebjelker festet på undersiden av massivtre-elementet er et eksempel på en underliggende avstiver. Dette gir en økt stivhet til elementene og en mulighet for å benytte større spennvidder (SINTEF Byggforsk, 2009a).

Produksjonen av massivtre-elementer ligner i stor grad på hvordan limtre produseres, men er forskjellig ved at limtre vil limes kun i spennretningen, og ikke ha noe bearbeiding i form av utsparring eller hulltaking i etterkant. At utsparring og hulltaking kan utføres på

fabrikk, gjør at presisjonen på disse blir høyere enn hvis det skulle bli gjort på byggeplass. Figur 27 viser en skjematisk fremstilling av produksjonen av massivtre-elementer.



Figur 27. Produksjon av massivtre-elementer (Svenskt Trä, 2017).

Krysslagte elementer er det massivtre-elementet som er mest kostnadseffektivt og har lengst holdbarhet (Buck *et al.*, 2015). Bygging ved hjelp av massivtre innebærer en kombinasjon av prefabrikkerte elementer og bygging på byggeplass (Sardén, 2005). De prefabrikkerte elementene leveres, og blir montert på byggeplass. Under produksjonen av de prefabrikkerte elementene er det viktig å ha kontroll på parametere som temperatur, fukt, bindingstrykk, og påført limmengde. Det er viktig å påse at disse forholdene er innenfor de anbefalte verdiene under produksjonen for å sikre at trevirket og limet har tilstrekkelig styrke, og oppfyller gjeldende kriterier (Brandner, 2013). En av de største fordelene er kostnadsbesparelsene man kan oppnå i form av redusert byggetid, som blir redegjort for i kapittel 2.6.5.

Tykkelsen på elementene har en øvre praktisk grense på 508mm, og er satt på bakgrunn av produksjonen og frakten av elementene (Karacabeyli og Gagnon, 2019). 150 til 250mm tykkelse er mest vanlig, og elementene kan generelt ha spennvidder på inntil 7,5m. Likevel kan større spennvidder oppnås med kombinasjonssystemer, slik som samvirke-elementer (Treteknisk, 2006). Dette oppgir også Espinoza *et al.* (2016), som siterer Karacabeyli og Douglas (2019) på at et element med tykkelse 230mm og syv sjikt kan oppnå 7,5m spennvidde. Enda større spennvidder kan oppnås med hulromselementer.

Av markedsanalysen til Trebruk kommer det frem at 4% av massivtreforbruket i Norge i 2018 kom fra norske produsenter (Lier og Aasheim, 2020). Det eksisterte på denne tiden kun to små produsenter i Norge. I 2019 etablerte Splitkon AS en stor massivtrefabrikk i Norge. Dette bidro til at andelen massivtre produsert i Norge økte til 20%. Det kan forventes at denne andelen øker ytterligere de kommende årene. Det resterende massivtreforbruket blir dekket av import fra andre land, i hovedsak fra Østerrike, Sverige, Tyskland, Latvia og Litauen. Tabell 4 viser noen av produsentene som leverer massivtre til Norge.

Tabell 4. Produsenter av massivtre (Lier og Aasheim, 2020)

Land	Produsent	Representasjon i Norge
Norge	Splitkon AS	-
	Nordisk Massivtre AS	-
	Norsk Massivtre AS	-
Sverige	Martinsson trä AS	Uten representant i Norge
Mellom-Europa	Mayer – Melnhof	Representert i Norge ved Techwood AS
	Binderholz	Uten representant i Norge
	Derix	Representert i Norge ved Aanesland Limtre AS

### 2.7.2. Branntekniske egenskaper

Når det gjelder de termiske egenskapene har tre en høy spesifikk varmekapasitet og gode varmelagringssevner. Dette gjør at treet holder godt på varmen, noe som kan redusere energiforbruket i bygninger. Det er også små temperaturbevegelser i materialet, og treet har gode isoleringsegenskaper i motsetning til stål og betong (Svenskt Trä, 2017). Dette gjør at massivtreet har god brannmotstand.

Kristian Hox i SP Fire Research AS gjennomførte i 2015 en branntest i forbindelse med byggingen av studentboligene på Moholt i Trondheim. De bygde en testbygning utformet som en kopi av hyblene med tilhørende korridor slik de skulle være ved ferdigstilt bygning. Det ble gjort test av to ulike scenarioer. Ett scenario med fungerende sprinkleranlegg, og ett uten. Testen av scenario to, uten sprinkleranlegg, viser egenskapene til massivtreet alene i en brann. Rapporten peker på de gode branntekniske egenskapene massivtreet viser. Innbrenningshastigheten varierte fra 1,4mm/min til 0,7mm/min, og er raskest i begynnelsen, frem til første lamell er forkullet. Forkulling hindrer tilgangen på oksygen, noe som forsinker temperaturøkning innover i trevirket (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015).

Samtidig ser man forskjeller på brannmotstanden avhengig av hvordan veggene er bygget opp. Vegg ut mot korridoren består av 100mm massivtre: 5x20mm lameller og 13mm branngips. I forsøket ser forskerne at det raskt oppstår overtenning i et lite rom bestående av mye tre. Det stilles også spørsmål rundt bruken av branngips. Branngipsen som er festet på den ene vegg forsinkes at innbrenningen starter, men det observeres at gipsen og isolasjonen faller av underveis i brannen. Dette gjør at brannen får tilgang til nytt friskt trevirke som fører brannen videre (Hox, 2015). Brandon og Östman (2016) beskriver dette som *second flash-over*, et fenomen som oppstår når det skjer en endring i forholdene som fører til at temperaturen og varmeavgivelsen øker. Dette kan blant annet skje når gipsplater og isolasjon faller av veggene og gir brannen tilgang til nytt trevirke, eller om lameller skulle falle av og nye friske lameller kommer til syne. Sistnevnte omtales som delaminering (Worndal *et al.*, 2017).

I en studie fra Forest Products Library (Miyamoto *et al.*, 2021) ble det undersøkt i hvilken grad valg av lim har sammenheng med delaminering under brann. Her har forskerne testet fire ulike limtyper:

- Melamin-formaldehyd (MF)
- Fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF)
- Énkomponent polyuretan (PUR)
- Emulsjonspolymerisert isocyanat (EPI)

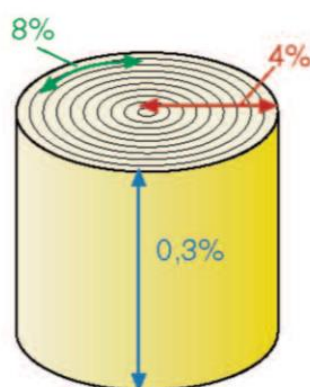
I denne studien kom det frem at MF og PRF hadde lavere risiko for delaminering. Dette funnet kan støttes opp under det McGregor (2013) erfarte i sitt forsøk hvor det ble brukt

PUR-lim mellom lamellene. Her pekes det på at PUR-limet mellom lamellene er lite motstandsdyktig ved høye temperaturer og dermed medvirker til delaminering, noe som i dette forsøket skjedde etter 39 minutter.

I 2013 ble det gjennomført en full-skala branntest på massivtre-elementer (Fragiacomo *et al.*, 2013). Det ble benyttet tre like massivtre-elementer bestående av 5x30mm krysslagte lameller. Elementene ble utsatt for en ensidig brannbelastning. I test 1 og test 2 ble elementene påført en last tilsvarende 21% av bruddlasten, mens de i test 3 fikk tilført en last tilsvarende 11% av bruddlasten. For å kunne gjennomføre tester på det gjenværende materialet, ble test 3 stoppet før massivtre-elementet hadde gått til brudd. Massivtre-elementet i test 1 var ubeskyttet, mens det i test 2 ble benyttet 15mm branngips utenpå elementet. Begge testene hadde altså samme lastpåkjenning. Forsøkene viste at massivtre-elementene gikk til brudd etter 99 og 110 minutter, i henholdsvis test 1 og test 2. Av forsøksresultatene kan man lese at ubeskyttet massivtre har en brannmotstand på hele 99 minutter, noe som tyder på en høy brannmotstand for et ubeskyttet massivtre-element. Denne brannmotstanden kan økes ytterligere ved bruk av branngips. I forsøket ble brannmotstanden ca. 10% høyere ved bruk av 15mm branngips.

### 2.7.3. Fukttekniske egenskaper

Alt trevirke er hygroskopisk, og avgir eller opptar fuktighet i samsvar med luftens fuktinnhold (Tronstad, 2018). Ettersom trevirket endrer sitt fuktinnhold, vil også materialet endre størrelse. Dette kalles svelling og krymping, og er en konsekvens av trevirkets hygroskopiske egenskaper (Tronstad, 2018). Ved tørking fra rått til absolutt tørt, er krympingen for gran og furu i gjennomsnitt 8%, 4% og 0,3% i henholdsvis tangentiell, radiell og aksiell retning, se figur 28 (Tronstad, 2018).



Figur 28. Krymp i tangentiell, radiell og aksiell retning (Tronstad og Steiner, 2018).

Fuktinnholdet i trevirke er dermed en viktig faktor, og er regulert i TEK17. §13-14 Byggfukt beskriver funksjonskrav i forbindelse med fuktinnhold i trevirke, ved blant annet å kreve maks 20 i vektprosent fukt for å hindre soppdannelse (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017). I tillegg til risiko for soppdannelse fører også fuktendring med seg kuring

og sprekker når treet sveller eller krymper (Thommesen, u.å). Krysslimt massivtre er dimensjonsstabilt ved fuktendringer på grunn av at trefibrene vekselvis vil ligge parallelt med og på tvers av lengderetning (Aarstad og Glasø, 2018). Fuktinnholdet påvirker ikke bare de estetiske egenskapene til trevirket, men også styrke og fasthet. Såfremt trevirket ikke er mettet med vann, vil de mekaniske egenskapene til treet påvirkes av endring i fuktinnholdet (Green, Winandy og Kretschmann, 1999).

Kontroll på fuktinnholdet er derfor viktig for treprodukter generelt, og dermed også massivtre-elementer. Montering av massivtrebygg foregår både under åpen himmel og under såkalt tak-over-tak, en presenning over takkonstruksjonen for å kontrollere fukttilførselen i bygget. Om det bygges under åpen himmel kan elementene utsettes for høy nedfukting som følge av nedbør, og risiko for fuktproblemer økes, spesielt sprekker etter tørking (Andersen, 2019). Sprekker og åpninger som konsekvens av fuktendring i elementene har vist seg å påvirke materialets hygroskopiske egenskaper, og kan dermed antas å ikke bare være estetisk (Kukk *et al.*, 2017). Målinger gjort i forbindelse med bygging av ZEB-bygget i Trondheim, uten tak-over-tak, viser at ytre del av treet fuktes raskt opp, men tørker raskt ut til tross for at elementene ble kraftig utsatt for nedbør (Time og Geving, 2021).

En ikke-publisert studie har derimot funnet at tørketiden for takelementer i massivtre er svært langsom; elementene tørker fra utsiden og inn. I hvor stor grad bygningen var utsatt for nedbør underveis, var avgjørende for fuktinnholdet (Gaarder og Pettersen, Ikke publisert). Rapporten anbefaler derfor at man holder byggfukten lav før innelukking av elementene, enten ved provisoriske takløsninger eller annen aktiv tørking av elementene. Dette er for å minimere fuktmengden i elementene. En svensk studie fra 2020 understreker også utfordringene ved fukt i massivtre, og fant at omtrent 100 av 200 målepunkter hadde mikrobiologisk vekst, og at dette utelukkende forekom på konstruksjonsdeler som var direkte utsatt for nedbør i byggetiden (Olsson, 2020). Her anbefales det også komplett beskyttelse mot nedbør. Srisgantharajah og Ullah (2015) på sin side, viser at syv døgn med oppfukting av en veggprøve tørker hurtig ut i begynnelsen, og dermed ikke gir noen stor fare for biologisk vekst av muggsopp.

#### 2.7.4. Akustiske egenskaper

Lyd er sanseintrykk som kan oppfattes ved hjelp av hørselen, og er trykkvariasjoner i luften (Gjestland, 2019). Trykkvariasjoner som mennesker kan oppfatte er i frekvensområdet fra omkring 20Hz til 20 000Hz (Gjestland, 2019). Akustikk er vitenskapen om lyd, og omtales i dagligtalen som lydforholdene i et rom (Gjestland, 2018). Lydtrykkets måleenhet er den logaritmiske enheten desibel, dB (Holtebekk, Myren og Ulseth, 2020). Akustisk måling av lydtrykket i desibel angir hvor mange ganger større eller mindre lydtrykket er i forhold til en referanseverdi, 0 dB vil si at målingen er lik referanseverdien (Holtebekk, Myren og Ulseth, 2020). Desibelskalaen fungerer slik at hver



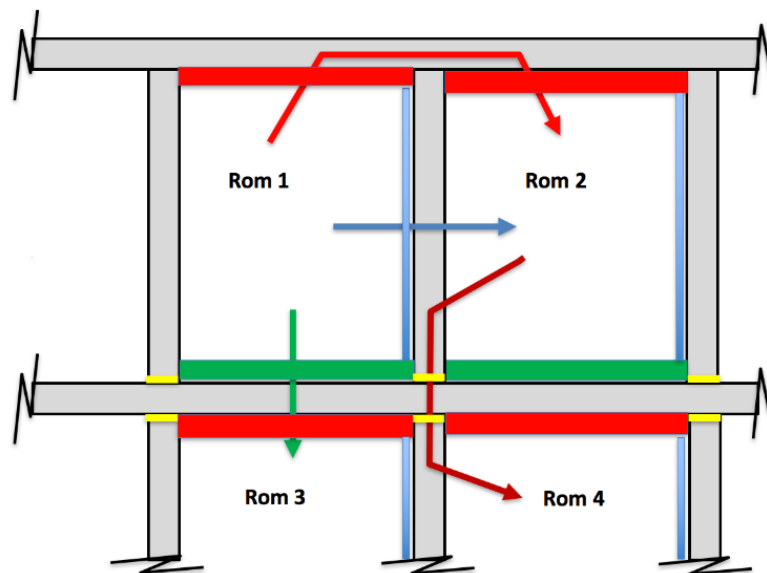
gang lydenergien dobles, øker desibelnivået med tre (Arbeidstilsynet, u.å.). Lyd og mengden lyd er viktig for helsen. Folkehelseinstituttet (2018) definerer støy som uønsket lyd som kan forårsake søvnforstyrrelser, redusert livskvalitet og redusert helse.

Bygningsakustikk defineres som læren om lydens utbredelse i bygninger, og deles videre inn i to kategorier: *romakustikk* når det omhandler lydutbredelse i ett og samme rom, og *lydisolasjon* når det omhandler lydutbredelse til andre rom i bygningen (Solvik, 2019). Lydutbredelsen til andre rom skjer som følge av luftlyd og trinnlyd.

Når en lydbølge treffer en vegg eller annen bygningsdel, blir noe av lyden reflektert, mens noe blir transmittert gjennom konstruksjonen. Differansen mellom innfallende og transmittert lyd angis i dB og kalles konstruksjonens lydreduksjonstall,  $R$ , og måler isoleringen av luftlyd (Edwardsen og Ramstad, 2017). Dersom differansen er høy gir det et høyt lydreduksjonstall, noe som betyr at lydisoleringen er god. Lydreduksjonstallet kan måles i laboratorium og i felt, der feltmålinger inkluderer alle bidrag til lydoverføring. Feltmålinger angis som  $R'$  og laboratoriemålinger kun med  $R$  (Edwardsen og Ramstad, 2017). Feltmålinger veies mot en normkurve for å få ett enkelt tall, istedenfor flere tall for de ulike frekvensbånd (Edwardsen og Ramstad, 2017). Dette oppgis som veid, feltmålt lydreduksjonstall  $R'_{w'}$ . Jo større verdi på  $R'_{w'}$ , jo bedre er luftlydisolasjonen.

Trinnlyd oppstår når gange eller annen trafikk på gulvet setter etasjeskilleren og underliggende vegger i svingning, som gir lydavstråling i rommet under (Edwardsen og Ramstad, 2017). Trinnlyden,  $L_n$  angis i dB og betegner trinnlydisolasjonen (Edwardsen og Ramstad, 2017). Som med lydreduksjonstallet angis feltmålinger med apostrof. I motsetning til lydreduksjonstallet  $R$ , ønsker man et lavt nivå på trinnlyden  $L_n$  ettersom dette måler den direkte lydstrålingen. Også for trinnlyd vil man veie målingen mot en normkurve (Edwardsen og Ramstad, 2017). Veid, normalisert trinnlydnivå oppgis ved  $L'_{n,w'}$  og jo lavere verdi, jo bedre trinnlydisolasjon.

En årsak til at man skiller på laboratorie- og feltmålinger er det som kalles flanketransmisjon. Dette er lydoverføringer som skjer via flankerende bygningsdeler, utenom hovedkonstruksjonen, som man kan kontrollere på laboratorium (Edwardsen og Ramstad, 2017). Flanketransmisjon kan ha stor påvirkning i hus bygget i tre. Dette er på grunn av at den lave vekten på konstruksjonselementene lett blir satt i svingning, og at konstruksjonen er satt sammen av mange sjikt der lyden kan forplante seg (Edwardsen og Ramstad, 2017).



Figur 29. Blå pil er luftlyd, grønn pil er trinnlyd og rød pil er flanketransmisjon. Illustrasjon: Brekke & Strand Akustikk

NS 8175 *Lydforhold i bygninger – Lydklasser for ulike bygningstyper* (Standard Norge, 2019) angir fire lydklasser for bygninger:

- Klasse A, som tilsvarer spesielt gode lydforhold der berørte personer kun unntaksvis blir forstyrret av lyd og støy
- Klasse B, som tilsvarer meget gode lydforhold, men berørte personer kan bli forstyrret av lyd og støy til en viss grad
- Klasse C, som tilsvarer tilfredsstillende lydforhold for en stor andel av berørte personer
- Klasse D, som tilsvarer lydforhold der en stor andel av berørte personer kan forvente å bli forstyrret av lyd og støy

I standarden siteres også forskning på at ved oppfyllelse av krav til klasse B, vil ca. 95% av befolkningen være lite eller ikke plaget av luftlydoverføring, og tilsvarende ca. 90% for trinnlyd. Dersom klasse C oppfylles vil ca. 90% være lite eller ikke plaget av luftlydoverføring, og tilsvarende ca. 80% for trinnlyd.

Akustikk og lydforhold er dermed viktige faktorer i bygg, og er regulert i TEK17. Forskriften angir bare funksjonskrav, men i veilederen henvises det spesifikt til NS 8175 sin lydklasse C for å oppfylle minstekrav (Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017). I boken Trehus (Edvardsen og Ramstad, 2017) er det oppsummert grenseverdier for feltmålt, veid reduksjonstall og trinnlydnivå, for boliger og brukerområder i henhold til NS 8175 (Standard Norge, 2019). Dette er gjengitt i tabell 5 og tabell 6.  $C_{50-5000}$  og  $C_{1,5-2500}$  er korreksjonsledd det er anbefalt å bruke i klasse C, men som ikke er obligatorisk.

Tabell 5. Oversikt over lydreduksjonstall (Edvardsen og Ramstad, 2017).

Bruksområde	Lydreduksjonstall	
	Klasse B	Klasse C
	$R'_w + C_{50-5000}$	$R'_w$
	dB	dB
Mellom boenheter innbyrdes, og mellom en boenhet og fellesareal/kommunikasjonsvei som f.eks. fellesgang, trapp og trapperom	58	55
Mellom en boenhet og kommunikasjonsvei, som for eksempel svalgang eller utvendig trapp der det er rom med vindu direkte mot kommunikasjonsveiene	48	45
Mellom en boenhet og nærings- og servicevirksomhet, garasjeanlegg o.l.	63	60

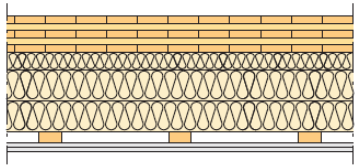
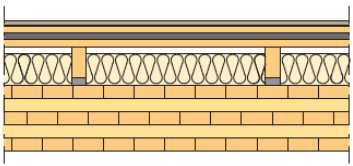
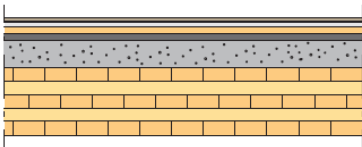
Tabell 6. Oversikt over trinnlydnivå (Edvardsen og Ramstad, 2017).

Bruksområde	Trinnlydnivå	
	Klasse B	Klasse C
	$L'_{n,w} + C_{1,5-2500}$	$L'_{n,w}$
	dB	dB
Mellom boenheter og i en boenhet fra fellesareal/kommunikasjonsvei som f.eks. fellesgang, svalgang, trapperom og trapp	48	53
I en boenhet fra nærings- og servicevirksomhet, garasjeanlegg, felles takterrasse o.l.	43	48
I en boenhet fra toalettrom, bod, balkong o.l. i en annen boenhet	53	58

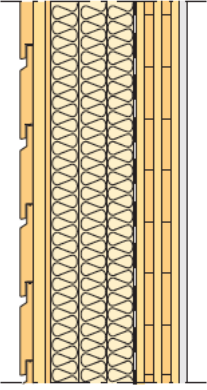
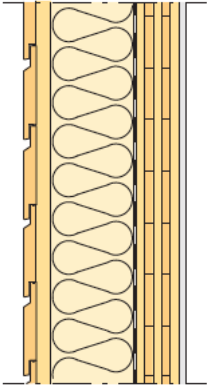
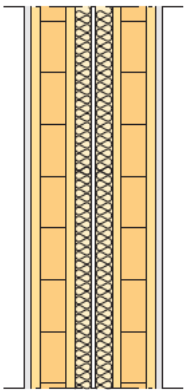
En preakseptert ytelse er gitt av DiBK, og vil oppfylle eller bidra til å oppfylle ett eller flere funksjonskrav gitt i TEK17. Funksjonskravene som omhandler lyd er gitt i §13-6 i TEK17, og innbefatter luftlyd og trinnlyd, romakustiske forhold, støy fra byggt tekniske installasjoner og støy fra utendørs kilder. Byggforsk gir preaksepterte ytelser for å oppfylle funksjonskravene til akustikk, både ved etasjeskiller med trebjelkelag og for tunge etasjeskillere (SINTEF Byggforsk, 2017b; 2016a; 2015b; 2015a; 2009b; 2007), for yttervegger (SINTEF Byggforsk, 2016d; 2000) og tak (SINTEF Byggforsk, 2017a). For massivtre finnes det ikke slike preaksepterte ytelser enda, men på forespørsel oppgir SINTEF Byggforsk at Byggforskblader med massivtre er forventet å komme innen kort tid.

Massivtre-elementer har lav vekt, og i motsetning til tyngre materialer har det lav motstand mot lyd under 100Hz (Hagberg, 2018). Det er vist at frekvenser helt ned i 20Hz gir opplevd forstyrrelser hos naboer i samme bygg (Ljunggren, Simmons og Hagberg, 2014), med 25Hz som mest plagsomt (Ljunggren, Simmons og Öqvist, 2017). Trinnlyd er vist å oppleves like plagsomt som støy fra trafikk (Høsøien, 2016). Dette byr på byggetekniske utfordringer, da området under 100 Hz er lite undersøkt (Hagberg, 2018). Det er likevel funnet tekniske løsninger som tilfredsstillende lydkrav som TEK17 setter. KL-trähandbok (Svenskt Trä, 2017) gir eksempler på løsninger for både etasjeskiller, tabell 7, og vegg, tabell 8. Merk spesielt at høyere egenvekt på etasjeskilleren reduserer trinnlyden.

Tabell 7. Ulike løsninger på etasjeskiller for lydkrav (Svenskt Trä, 2017).

Type	Materiale [mm]	Total høyde [mm]	Vekt [kg/m <sup>2</sup> ]	Trinnlyd L <sub>n,w</sub> (C <sub>1,50-2500</sub> ) [dB]	Luftlyd R <sub>w</sub> (C <sub>50-3150</sub> ) [dB]
	<b>Etasjeskiller type 1</b> 140 CLT-element 70 isolering 45 x 220 bjelkelag 2 x 95 isolering 28 bjelkelag 2 x 13 gipsplate	449	130	≤ 54	≥ 56
	<b>Etasjeskiller type 2</b> 14 parkett 3 underlagsfoam 22 sponplater 20 trinnlydsplate 22 sponplater 95 bjelkelag 95 isolering 25 trinnlydsmatte 200 CLT-element	401	145	≤ 54	≥ 52
	<b>Etasjeskiller type 3</b> 14 parkett 3 underlagsfoam 13 gulvgipsplater 22 sponplater 20 trinnlydsplater 80 ren singel 200 CLT-element	352	235	≤ 44	≥ 63

Tabell 8. Ulike løsninger på vegg for lyd- og brannkrav (Svenskt Trä, 2017).

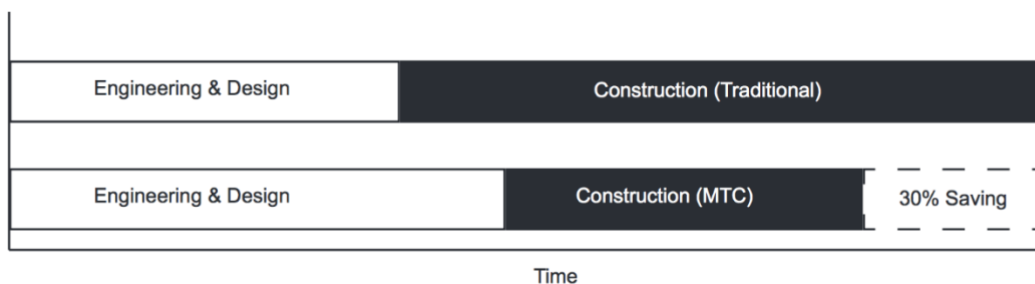
Bjelkelagstype	Materiale [mm]	Total tykkelse [mm]	Luftlyd $R_w$ ( $C_{50-3150}$ ) [dB]	Brannklasse/ U-verdi [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ]
	<b>Yttervegg type 1</b> 22 utvendig panel 28 utforing Vindsperre 12 x 70 kryssfiner 70 isolering 145 bindingsverk 70 + 70 isolasjon Dampsporre 120 CLT-element 15 branngips	412	$R'_w = 48 - 55$	EI90/0,15
	<b>Yttervegg type 2</b> 22 utvendig panel 27 x 97 kryssfiner, c/c 600 200 isolering Dampsporre 120 CLT-elementer 15 branngips	384	$R'_w = 52$	EI90/0,15
	<b>Leilighetsskillende vegg type 1</b> 15 branngips 80 CLT-element 45-70 isolering 20 luftspalte 45-70 isolering 80 CLT-element 15 branngips	300-350	<i>Alternativ 1:</i> $\leq 52$ (100mm mellom CLT-elementer)  <i>Alternativ 2:</i> $\leq 48$ (50mm mellom CLT-elementer) $\leq 56$ (170mm mellom CLT-elementer) $\leq 58$ (200mm mellom CLT-elementer)	EI60 (ensidig brann)

### 2.7.5. Tidsbruk

Ifølge Kremer og Symmons (2015) er den største fordel til massivtre redusert tidsbruk *on-site*, på byggeplass. Dette fordi elementene produseres *off-site* på fabrikk. Treteknisk har i sin publikasjon nr. 20 *Massivtre* (Aarstad og Glasø, 2018) sett på noen egenskaper ved massivtre som gjør dette materialet fordelaktig. Også her ble kort byggetid trukket frem. Kort byggetid er vist i flere studier, blant annet en Case-studie av Vancouver Campus utført av University of British Columbia i 2018. Her ble det vist at byggetiden kan reduseres ved bruk av massivtre-elementer. I denne studien ble det bygget et 18-etasjes campusbygg bestående av massivtre, med to gjennomgående heissjakter av betong. Byggetiden for de to heissjaktene ble på 14 uker, mens den resterende bærekonstruksjonen av tre ble bygget på ti uker (Connolly *et al.*, 2018). En case-studie av det åtteetasjes leilighetsbygget Murray Grove, viste at byggetiden var 17 uker kortere med massivtre, sammenlignet med byggetiden for plasstøpt betong. Dette tilsvarte en reduksjon på 26% (Dujjè, Yates og Linegar, 2008). Et tietasjes leilighetskompleks fra Australia estimerte en tidsbesparing på 30% sammenlignet med tradisjonelle byggemetoder (Walsh, 2013).

I en annen case-studie det ble sammenlignet to boligblokker. Den ene ble bygget i massivtre mens den andre ble bygget i plasstøpt betong. Her ble det funnet en kortere byggetid på 40%, og kortere total prosjekttid på 25% ved bruk av massivtre (Halseth, 2019). I en studie gjennomført av Ryan Smith *et al.* (2016) ble syv prosjekter sammenlignet. Her kom det frem at den gjennomsnittlige tidsbesparelsen i de syv prosjektene var på 20%, selv om fire av de syv prosjektene var pilotprosjekter (Smith *et al.*, 2016). Dette tilsvarte en gjennomsnittlig byggetid på 12,7 måneder ved bygging i massivtre, og 15,4 måneder for tradisjonell byggemetode med stål og betong som bæresystem.

Kremer (2018) påpeker at prosjekteringstiden er den delen av byggeprosessen som er mest krevende, fordi prosjektering av massivtre krever høy nøyaktighet og nøye planlegging. Kremer (2018) oppgir også at det er nødvendig med standardisering av massivtrebygg for å oppnå høyest grad av effektivisering, noe som kan bidra til økte kostnadsbesparelser i form av tidsreduksjon i byggeprosessen. Entreprenører med erfaring og kunnskap innenfor bruk av massivtre kan oppnå en tidsbesparelse på hele 30% (Kremer, 2018). Dette på tross av at prosjekteringstiden i de fleste tilfeller er litt lenger enn ved bruk av tradisjonell byggemetode. Det vises til at kostnadsbesparelsene i stor grad kommer i selve byggeprosessen, hvor det innhentes mye tid i elementbyggingen (Kremer, 2018; Kremer og Ritchie, 2018).



Figur 30. Sammenligning av tidsbruk i byggeprosjekter ved bruk av stål og betong kontra massivtre (MTC) (Kremer og Ritchie, 2018).

I en Masteroppgave fra 2014 utførte Thomas Finstad intervjuer med ulike aktører i bransjen, med utgangspunkt i en case-studie av to byggeprosjekter med bæresystem i massivtre. Byggeprosjektene var studentboliger på Ås og i Halden. Målet med intervjuene var å sammenligne de økonomiske fordelene og ulempene ved bæresystem i massivtre identifisere med stål og prefabrikkerte betongelementer. For å gjøre dette ble det stilt spørsmål om tema som påvirker økonomien. Herunder prosjektering, kostnader, fremdrift, livsløpskostnader, og generelle erfaringer. I forbindelse med de to prosjektene ble det intervjuet følgende aktører for å få ulike perspektiver:

- Entreprenører - Veidekke og Ove Skår AS
- Leverandører - Woodcon og Norsk massivtre
- Byggherrer - Studentsamskipnaden i Ås og Studentsamskipnaden i Østfold

De to entreprenørene er enstemmige i at prosjekteringsfasen var forlenget, sammenlignet med en bygning med stål og prefabrikkerte betongelementer. Veidekke peker på at lyd- og brannisolering var særlig krevende. Mangel på informasjon om tekniske løsninger gjorde det nødvendig med testing av forskjellige løsninger på byggeplass, spesielt med hensyn til flanketransmisjon. Prøving og feiling er en tidkrevende prosess. Det er også ekstra dokumentasjonskrav og uavhengig kontroll av brannprosjekteringen.

Ove Skår underbygger erfaringen om økt tidsbruk i brann- og lydprosjekteringen, og påpeker i tillegg økt behov for detaljplanlegging på grunn av at elementene leveres med ferdige hull til ventilasjon, rør osv. fra fabrikk. Denne entreprenøren forventet å bruke 500 000-600 000 kr ekstra på prosjektering, sammenlignet med om de hadde bygget i stål og betong.

Byggherrene og leverandørene erfarte ikke en forlenget prosjekteringsfase, men det pekes på at tidlig og grundig prosjektering er avgjørende for å oppnå de beste løsningene. Dette er spesielt med tanke på prefabrikkerte føringsveier for VVS og elkraft. På den annen side påpekes det at økt planlegging gir raskere gjennomføring og lavere byggekostnader. Likevel står brann- og lydprosjekteringen igjen som det mest utfordrende, men testingen og utprøvingen av dette på byggeplass ble støttet av Innovasjon Norge, og var dermed ikke like økonomisk pressende.

Fremdrift og tid for gjennomføring var et av kriteriene for valg av bæresystem for Studentsamskipnaden i Ås, og det ble erfart at det stemte i praksis. Kort byggetid var en av grunnen til at massivtre også ble valgt i det andre prosjektet. Studentsamskipnaden i Østfold sier byggetiden har gått over all forventning. VVS og elkraft gikk raskere enn normalt, og massivtre var enkelt å jobbe med og gav bedre arbeidsmiljø med mindre støv, fukt og støy. Også entreprenørene erfarte kortere byggetid. Veidekke observerte 30-40% kortere byggetid sammenlignet med antatt byggetid i stål og betong. Det var likevel lyd og brann som var mest tidkrevende. Det oppsto i tillegg problemer med avstivning av bygningen, noe som tok mye tid. Det antas uansett at det er raskere å bygge i massivtre.

Leverandørene mener byggetiden er raskere for massivtre sammenlignet med stål og betong, men at det handler mye om logistikk på byggeplass. Det handler også om at man benytter massivtre-elementer der det er hensiktsmessig, og at den lave vekten sørger for rask montasje. Woodcon peker i tillegg på at uttørkingstiden er svært kort, og at man oppnår tett bygg raskt.

#### 2.7.6. Økonomi og miljø

Lønnsomhet sier noe om en bedrifts evne til å tjene penger på sin virksomhet, og skape overskudd (Kristoffersen, 2016). Både private og offentlige aktører stiller krav til lønnsomhet (Rasmussen, Knudsen og Ruud, 2006). Rasmussen, Knudsen og Ruud (2006) beskriver forskjellen på offentlige og private utbyggere som at de offentlige skal velge de løsningene som samlet sett minimaliserer statens kostnader ved bygget, vurdert over byggets levetid. En privat utbygger derimot prioriterer de tiltakene de tjener mest på ved salg. Både tidsperspektivet for når avkastningen skal innhentes samt rammene for lønnsomhetsvurderingene har betydning for de tiltak og løsninger som vurderes som mest lønnsomme (Rasmussen, Knudsen og Ruud, 2006).

Halseth (2019) sammenlignet bæresystemer i to leilighetskompleks, og fant at massivtre var 10% dyrere enn stål og plasstøpt betong. På den annen side fant Smith *et al.* (2016) en kostnadsreduksjon på 4,2%. Dette var et snitt av syv ulike bygg i massivtre, og var sammenlignet med stål og betong. I samme studie blir det poengtert at flere av disse byggene var såkalte pilotprosjekter (Smith *et al.*, 2016). Dunn (2015) fant at et åtteetasjes leilighetskompleks hadde en innsparing på 2,2% ved å benytte massivtre heller enn betong. Brannsikring- og prosjektering, samt termittbeskyttelse, førte til økte kostnader. Likevel hadde massivtre en innsparing sammenlignet med betong, mye på grunn av kortere montering (Dunn, 2015).

På spørsmål om livssyklus-kostnader og særlig vedlikehold og utskiftning på grunn av bruk av massivtre, svarer Veidekke at man har lite informasjon om langtidseffekten (Finstad, 2014). Dette er fordi det er relativt lite erfaring med materialet i Norge. Veidekke forventer noe vedlikehold og utskiftninger på grunn av krymp og oppsprekking. Ove Skår



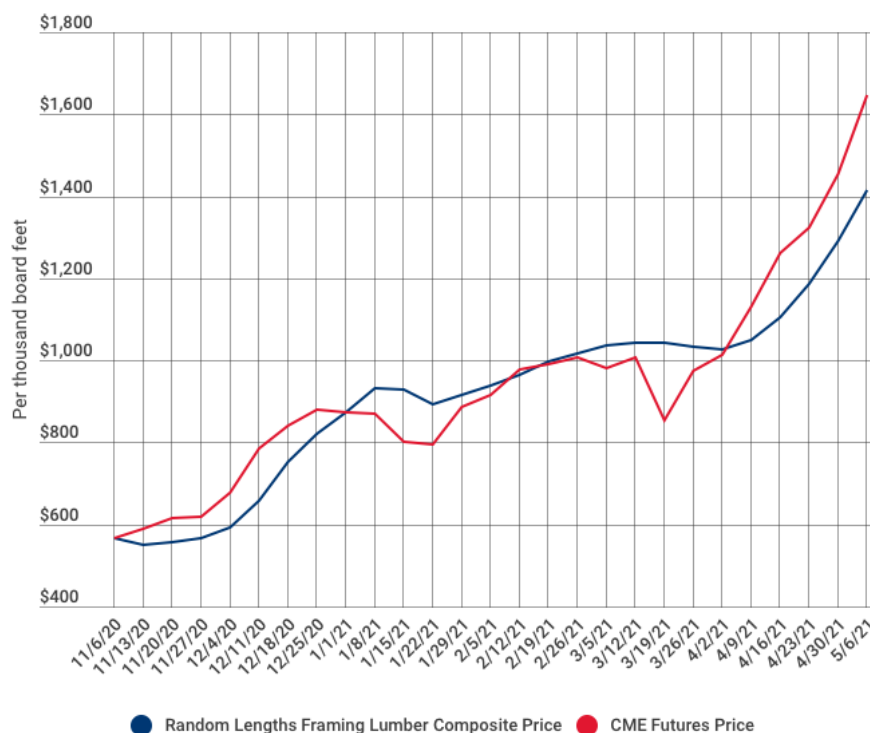
på sin side forventer ingen økte kostnader fra vedlikehold og utskiftning. Til tross for mangel på kunnskap om langtidseffektene, mener leverandørene at det ikke er noen økte kostnader med vedlikehold og utskiftning, sammenlignet med stål og betong. De to byggherrene anser det ikke som sannsynlig med økt kostnad til drift og vedlikehold, spesielt med tanke på at de begge prosjekterte med løsninger med lavt vedlikeholdsbehov. Norsk Massivtre peker på at det å bytte ut bærende konstruksjonsdeler kan være en utfordring. Leverandørene i studien peker på rivingsfasen som en av massivtreets store fordeler. Gjenbruksverdien av massivtre er stor.

Veidekke antok at det ikke ble dyrere å bygge med massivtre, kontra stål og betong. Ove Skår har derimot fra tidligere prosjekter sett at massivtre er noe dyrere. Det var ekstra kostnader forbundet med å kle innvendige overflater for å tilfredsstille lyd- og brannkrav, samt å avstive for horisontale krefter på grunn av den lave egenvekten. På den annen side var det enklere å utføre hulltagning og andre hjelpearbeider, som følge av fleksibiliteten i materialet. Kortere byggetid fører til at rigg og drift blir billigere ved bruk av massivtre. Woodcon mener det ikke er noen økte kostnader ved bruk av dette materialet.

Prisforskjellene for råbygg er lik eller marginalt forskjellige, sammenlignet med stål og betong. Studentsamskipnaden i Ås tror ikke bygget ble noe dyrere på grunn av massivtre. De kom godt innenfor kravet på pris per boenhet, og prosjektet i Halden hadde ikke blitt startet med bæresystem i massivtre om det ikke viste seg å være lønnsomt.

Studentsamskipnaden i Østfold nevner at effektiviteten i montasjen hadde positiv innvirkning på byggekostnadene, og at dette kom som et resultat av god prosjektering.

Prisen på byggematerialene har stor innvirkning på lønnsomheten til prosjektet. I et tistasjes bygg ble massivtre funnet å være 16 til 29% dyrere enn plasstøpt betong, når råbygget ble tatt i betraktning (Fanella, 2018). Tilbud og etterspørsel er avgjørende for prisene. Av figur 31 kan man se prisutviklingen på tømmer det siste året. En slik kraftig økning i pris kan få konsekvenser for bransjen og bruken av materialet.



Figur 31. Pris på tømmer det siste året. Illustrasjon: NAHB.org

Redusert klimaavtrykk for massivtre trekkes ofte frem som et fortrinn over stål og betong (Lotherington, 2015; TreFokus, 2013; Halseth, 2019; Tekna, 2019; Lier og Aasheim, 2020). I en sammenligning av tre ulike leilighetsbygg, kommer massivtre best ut med lavest klimagassutslipp over livssyklusen, uten at rivingsfasen er medtatt (Eliassen, 2019).

Liang *et al.* (2020) fant at behovet for gips i et massivtrebygg gjorde at klimagassutslippet økte veldig; hele 16% av bygningsmassen var gips. Likevel presterte massivtre bedre enn betong på klimagassutslipp over levetiden (Liang *et al.*, 2020). En rapport utarbeidet av Østfoldforskning i 2019 (Rønning *et al.*, 2019) viser at transport er avgjørende for hvorvidt et bygg i massivtre gir et mer gunstig klimaavtrykk, enn et bygg i stål og prefabrikkerte betonghulldekker. Rapporten viser at ved de lavere etasjene kommer massivtre best ut. Fra 16 etasjer og høyere har stål og prefabrikkerte hulldekkerelementer det minste klimaavtrykket. Bytter man til lavkarbonbetong, og materialtransporten blir 80 mil lengre, vil massivtre utkonkurreres allerede ved åtte etasjer (Rønning *et al.*, 2019).

## 3. Metode

I Del 1 av oppgaven har gruppen hentet litteratur og forskning fra tilgjengelige databaser og søkemotorer. For å kunne gjennomføre beregningene i første del av oppgaven, var det viktig å ha tilgang til korrekt tegningsgrunnlag for lengder, kotehøyder og annen informasjon som er nødvendig for dimensjoneringsarbeidet. Gruppen fikk derfor tilsendt et tegningsgrunnlag av ekstern veileder i Syljuåsen, Trond Øyvind Nilsen. Herunder lå plantegninger, snitt-tegninger og fasadetegninger. I følgende kapittel vil gruppen gjøre rede for metoder brukt i denne delen av oppgaven.

### 3.1. Litteraturstudien

En litteraturstudie er en dekkende gransking og tolkning av litteraturen som finnes om et bestemt tema (Aveyard, 2007). I arbeidet med litteraturstudien var det flere prosesser som skulle gjennomgås. Innhenting av relevant litteratur var første oppgave.

#### 3.1.1. Databaser og søkemotorer

For å starte innhentingsprosessen ble NTNUs Universitetsbibliotek, Oria, benyttet for å finne faglig relevante databaser og søkemotorer. I tabell 9 finnes de brukte databasene og søkemotorene. Databasene dannet et godt grunnlag for å hente inn gode og troverdige kilder.

Tabell 9. Databaser og søkemotorer som ble benyttet.

Databaser og søkemotorer
ASCE Library
Compendex
Google Scholar
JSTOR
NTNU Open
SAE MOBILIOUS
Scopus
Standard.no
Web of Science

#### 3.1.2. Litteratursøk

Etter å ha funnet de ulike databasene og søkemotorene, gikk gruppen i gang med å søke etter relevant litteratur. For å hjelpe med litteratursøket etablerte gruppen en søkestreng. Denne besto av sentrale begreper og søkeord, både på norsk og engelsk. Søkestrengen

ble kombinert ved hjelp av kombinasjonssøking, kalt boolske operatører (Helsebiblioteket, 2016).

Tabell 10. Benyttet søkestreng.

Tremateriale	Stål	Betong	Tid	Kostnad
CLT	Steel	Concrete	Time	Cost
KL	Stål	Betong	Construction time	Economy
Solid wood			Time spent	Kostnad
Cross Laminated Timber			Tidsbruk	Økonomi
Glulam				Lønnsomhet
Massivtre				Profitt

### 3.1.3. Valg av litteratur

Ved å benytte søkestrengen ble litteratursøket mer avgrenset, og en større andel av treffene ble relevante. Gruppen startet deretter å hente inn de kildene som virket interessante for oppgaven. Dette ble i første omgang gjort ved å se på tittelen og lese over de tilhørende sammendragene. Deretter ble kildene vurdert opp mot problemstillingen, og om de var relevante nok til å være med videre i prosessen. Kildene ble lagt inn i et kildebibliotek, for å holde oversikt over de det var ønskelig å se nærmere på i neste fase av litteraturstudien.

Etter å ha hentet inn de kildene som var relevante for oppgaven, startet arbeidet med å sette seg bedre inn i hva de omhandlet. Gruppen leste nøyerer gjennom sammendragene, resultatene, konklusjonene, og så på hvordan studiene og rapportene var gjennomført. Ved å benytte et rating-system i kildebiblioteket, kunne gruppen sortere de innsamlede kildene etter relevans. De mest relevante kildene fikk fem stjerner, mens irrelevante kilder fikk én stjerne. Slik fortsatte gruppen å evaluere alle kildene, og fikk dermed en bedre oversikt over hvilke kilder som skulle tas med videre i oppgaven.

### 3.1.4. Vurdering av litteratur

Kildekritikk er en metode som benyttes både for å vurdere avsenderen av informasjonen og troverdigheten til informasjonen (Orgeret, 2018). Gruppen benyttet kildekritikk gjennom TONE-prinsippet:

- Troverdighet - er kilden til å stole på?
- Objektivitet - er kilden nøytral?
- Nøyaktighet - finnes det spor etter juks eller slurv?
- Egnethet - finnes svarene man er på jakt etter?

Til tross for at dette er få og tilsynelatende enkle punkter, er det vanskelig å ha et kildekritisk blikk gjennom hele litteraturinnhenting. Derfor har gruppen forenklet

vurderingen ved å i utgangspunktet kun inkludere forskningsartikler publisert i fagfelleverderte tidsskrift. Dette vil si at artikkelen har blitt kritisk vurdert av eksperter innenfor faget, før den ble godkjent for publisering. Et slikt inklusjonskriterium er likevel ikke alltid mulig å etterleve, da mye av forskningen som er gjort ikke er publisert i slike tidsskrift. Det gjelder blant annet flere gradsavhandlinger. Disse er likevel inkludert, men vurdert etter TONE-prinsippet.

Et annet viktig inklusjonskriterium er publiseringsår. Massivt er en relativt ny teknologi, og som nye teknologier flest skjer det en rask utvikling. Gruppen har dermed ønsket å bruke så ny forskning og litteratur som mulig. Dette må også betraktes i hvert enkelt tilfelle, da eldre forskning ikke er dårlig bare fordi det er eldre. Mange teorier og artikler i vitenskapen er like verdifulle mange tiår etter publisering.

## 4. Dimensjonering

I dette kapitlet redegjøres det for beregningene som ble utført for å dimensjonere og kontrollere utvalgte konstruksjonsdeler på Kvisgårdshjørnet. Resultatene av kontrollene vil presenteres i dette kapitlet, mens beregningsgrunnlaget finnes i Vedlegg 1.

For dimensjonering og prosjektering ligger ulike prinsipper til grunn, slik at man kan sikre at bygninger er trygge. Larsen (2004) viser til at 75% av årsakene til konstruksjonssvikt skyldes menneskelige feil, herunder skyldes 37% feil i prosjektering og design. Her igjen ligger en stor andel av feilen i feil konsept eller feil lastvirkningsanalyse (Larsen, 2004). Det er dermed viktig at dimensjonering og prosjektering utføres riktig, for å sørge for tilstrekkelig sikkerhet i bygg.

### 4.1. Laster og lastkombinasjoner

De europeiske prosjekteringsreglene er basert på bruk av partialkoeffisientmetoden ved dimensjonering, der det skal påvises at lastvirkningen ikke overskrider bæreevnen (Larsen, 2004). Dette skal vises i ulike, definerte grensetilstander. I denne oppgaven vil det skilles mellom to grensetilstander.

Ifølge Limtreboka 2015 er det en grunnregel at konstruksjoner ikke dimensjoneres for én enkelt last, men for kombinasjoner av laster (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Ved hver lastkombinasjon bør man ha en dominerende variabel last (Standard Norge, 2016). For å finne det dimensjonerende lastkombinasjonstilfellet må man systematisk betrakte hver last som dominerende (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Den dominerende lasten skal alltid ha full verdi, og kombineres med de andre lastene med begrenset verdi ved hjelp av faktorer som gir kombinasjonsverdier. Faktorene gir lastene litt reduserte verdier, og de deles inn i tre kategorier:  $\Psi_0, \Psi_1$  og  $\Psi_2$ .

Med variable laster menes nyttelaster, snølaster og vindlaster (Edwardsen og Ramstad, 2017). I beregningene av disse vil gruppen i første omgang beregne de karakteristiske lastene. Deretter vil gruppen kontrollere ulike lastkombinasjoner, for å konkludere med hvilket lasttilfelle som blir dimensjonerende.

#### 4.1.1. Grensetilstander

Beregninger i bruddgrensetilstand betyr å undersøke konstruksjoners bæreevne. Hensikten med dette er å kontrollere at bæreevnen er like stor eller større enn lastene de utsettes for (Edwardsen og Ramstad, 2017). Den dimensjonerende bæreevnen,  $f_d$ , beregnes som materialfasthet eller lastkapasitet.  $f_d$  brukes vanligvis for dimensjonering av

bæreevnen til bjelker, søyler, plater og lignende. Den dimensjonerende lastkapasiteten,  $R_d$ , brukes vanligvis for dimensjonering av festemidler og konstruksjonselementer, hvor den karakteristiske lastkapasiteten bestemmes gjennom prøving (Edvardsen og Ramstad, 2017).

Ved dimensjonering i bruksgrensetilstand er hensikten å kontrollere nedbøyninger og deformasjoner (Edvardsen og Ramstad, 2017). Beregning i bruksgrensetilstanden utføres etter at dimensjonene for konstruksjonen er bestemt i bruddgrensetilstanden. I bruksgrensetilstand benyttes vanligvis ikke faktorer for å redusere eller øke lastene. Deformasjonene som oppstår på grunn av aksialkrefter, skjærkrefter, bøyemoment eller glidning i forbindelser, skal ikke være så store at de forårsaker skader på overflatematerialer, hindrer at konstruksjonens krav til funksjon oppnås eller medvirker til at krav om utseende ikke blir tilfredsstillt (Standard Norge, 2010).

Edvardsen og Ramstad (2017) skriver at det benyttes midlere stivhetsmoduler for nedbøyning og andre deformasjoner. For sammensatte og inhomogene tverrsnitt er ofte stivhetene angitt for hver enkelt tverrsnittsdimensjon som bøyestivhet og skjærstivhet, henholdsvis EI og GA.

#### 4.1.2. Vindlast

Beregningene for vindlast finnes i Vedlegg 1. Her finner man at karakteristisk vindlast på tak og vegg er henholdsvis

$$W_{k,tak} = 0,29 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{k,vegg} = 0,65 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4.1.3. Snølast

Beregningene for snølast finnes i Vedlegg 1. Karakteristisk snølast på tak er gitt ved

$$S_k = 3,6 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4.1.4. Nyttelaster

Nyttelaster er som regel ikke dimensjonerende for hovedbærekonstruksjoner (SINTEF Byggforsk, 2003). I bygninger vil nyttelaster variere etter hva bygget skal brukes til (Standard Norge, 2010). Nyttelaster oppstår under bruk og ifølge NS-EN 1991 1-1 omfatter det personers normale bruk, møbler og bevegelige gjenstander, kjøretøyer og situasjoner som sjeldent forventes å oppstå (Standard Norge, 2009). Lasten kan være jevnt fordelt, linjelast, punktlast eller en kombinasjon av disse. I dimensjonerende

situasjoner der nyttelaster virker samtidig med andre variable laster, kan den totale nyttelasten betraktes som en enkelt last (Standard Norge, 2009).

I Vedlegg 1 finner man at jevnt fordelt last på gulv er  $q_k = 2,0 \frac{kN}{m^2}$  og punktlast er  $Q_k = 2,0 kN$ .

#### 4.1.5. Egenlaster

For bygninger klassifiseres egenlaster som bundne, permanente påvirkninger (Standard Norge, 2009). Egenlast omfatter både bærende og ikke-bærende deler, hvor ikke-bærende deler kan være varmeinstallasjon og taktekning. Ifølge NS-EN 1991 1-1 kapittel 6.1 bør egenlast for bygninger angis som en enkel karakteristisk verdi, og videre beregnes på bakgrunn av de karakteristiske verdiene for tetthet og nominelle dimensjoner (Standard Norge, 2009). Faste installasjoner som heiser, elektrisk utstyr og oppvarming-, ventilasjon- og klimaanlegg skal medberegnes i egenvekten. Også egenvekten til overflatebelegg, føringsrør, himling, varmeisolasjon, bevegelige skillevegger og andre ikke-bærende deler bør tas hensyn til i dimensjoneringen. Alle beregninger av egenlast ligger i Vedlegg 1.

*Etasjeskiller:*

$$g_{k,etg} = 2,3 \frac{kN}{m^2}$$

*Tak:*

$$g_{k,tak} = 1,4 \frac{kN}{m^2}$$

*Vegg:*

$$g_{k,vegg} = 0,8 \frac{kN}{m^2}$$

#### 4.1.6. Dimensjonerende lasttilfelle

Beregningene av dimensjonerende lasttilfelle er presentert i Vedlegg 1.

*Tak:*

$$q_{d,tak} = 7,38 \frac{kN}{m^2}$$

*Etasjeskiller:*

$$q_{d,etg} = 5,76 \frac{kN}{m^2}$$

*Vegg:*

Ettersom vegg skal kontrolleres for knekking oppgis dette som punktlast

$$N_d = 189,2 kN$$



## 4.2. Lastvirkninger og kontroll

Med lastvirkninger menes indre krefter, momenter og forskyvninger som lastene påført en konstruksjon forårsaker (Norske Limtreprodusenters Forening, 2015). Den dimensjonerende lastvirkningen bestemmes av de ulike dimensjoneringsverdiene for aktuelle laster, plassert i mest ugunstig posisjon (Svenskt Trä, 2017).

### 4.2.1. Bruddgrense

Beregningsgangen for kontroll av bruddgrensetilstand er gitt i Vedlegg 1.

*Kontroll av takelement:*

I henhold til KL-trähandbok må bøyespenningen kontrolleres om y-aksen

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{x,net}} \leq f_{m,x,d} = k_{sys} \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,x,k}}{\gamma_M}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 22,8 \frac{N}{mm^2} \leq f_{m,x,d} = 31,6 \frac{N}{mm^2} \text{ OK}$$

$$22,8 \frac{N}{mm^2} \leq f_{m,x,d} = 31,6 \frac{N}{mm^2} \text{ OK}$$

Takelementet er ikke utsatt for brudd.

*Kontroll av etasjeskiller:*

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{48,4 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{5,28 \cdot 10^6 \text{ mm}^3} = 9,2 \frac{N}{mm^2} \leq f_{m,x,d} = 23,0 \frac{N}{mm^2} \text{ OK}$$

Etasjeskilleren er ikke utsatt for brudd.

*Kontroll av vegg:*

Veggskive kontrolleres etter punkt 3.67 og 3.68 i KL-trähandbok

$$\frac{\sigma_{c,x,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,x,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{N_d}{k_{c,y} \cdot A_{x,net} \cdot f_{c,0,x,d}} + \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} \cdot f_{m,x,d}} \leq 1,0$$

Kontroll av bøyespenning

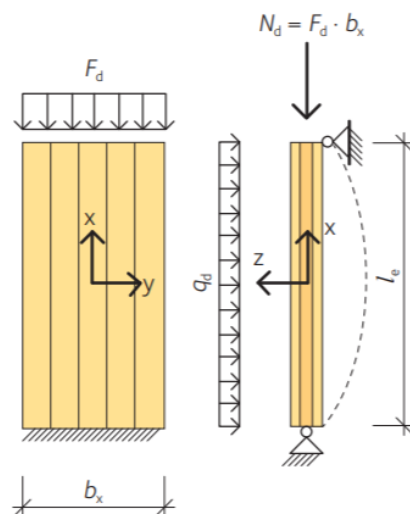
$$\sigma_{m,y,d} = 5,7 \frac{N}{mm^2} \leq f_{m,x,d} = 28,7 \frac{N}{mm^2} \text{ OK}$$

Kontroll etter (3.67) og (3.68)

$$\frac{\sigma_{c,x,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,x,d}} = 0,30 < 1,0 \text{ OK}$$

$$\frac{N_d}{k_{c,y} \cdot A_{x,net} \cdot f_{c,0,x,d}} + \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} \cdot f_{m,x,d}} = 0,58 < 1,0 \text{ OK}$$

Veggskiven er ikke utsatt for knekking.



Figur 32. Veggskive utsatt for tverrlast og trykklast (Svenskt Trä, 2017).

### 4.2.2. Bruksgrense

Som lastkombinasjon for bruksgrense velges den ofte forekommende lastkombinasjonen i henhold til NS-EN 1990. Gruppen benytter Timoshenkos metode for nedbøyningsberegning. Denne metoden er gjengitt i KL-trähandbok (Svenskt Trä, 2017). Alle beregninger for bruksgrensekontroll er gitt i Vedlegg 1.

Man ser av beregningene i Vedlegg 1 at det antatte takelementet gir for stor nedbøyning. Gruppen velger derfor å endre dette elementet til en tykkelse på 200mm med 40mm tykke sjikt. Tabell 11 viser tillatt nedbøyning  $w < \frac{L}{250}$  samt maksimal opptredende nedbøyning for ofte forekommende lastkombinasjon på tak og etasjeskiller. Man ser av tabell 11 at opptredende nedbøyning er mindre enn tillatt nedbøyning, og dermed innenfor kravet.

Tabell 11. Nedbøyning (mm) på tak og etasjeskiller.

Element	Tak	Etasjeskiller
Tillatt nedbøyning	38,8	34
Opptredende nedbøyning, jevnt fordelt last	26,2	24,3
Opptredende nedbøyning, punktlast	–	2,6

Dimensjonene på de kontrollerte elementene blir dermed:

Tabell 12. Valgte dimensjoner på 5-sjikts massivtre-elementer.

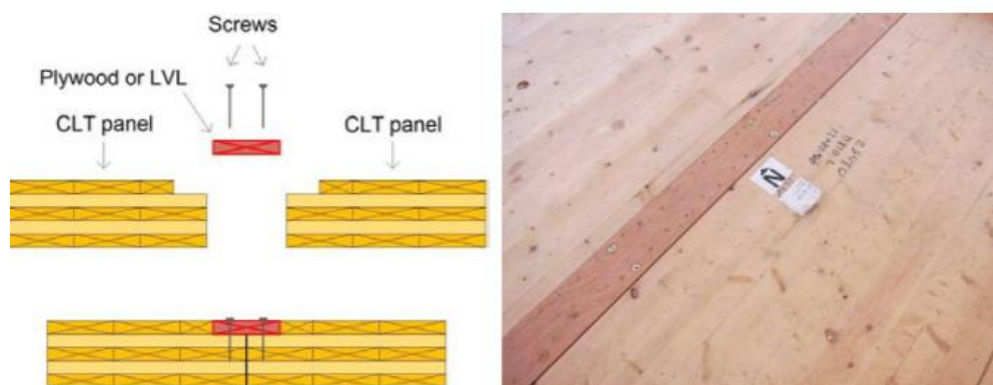
Element	Tak	Etasjeskiller	Yttervegg	Fasthetsklasse
$t_1$ [mm]	40	40	20	C30
$t_2$ [mm]	40	40	20	C14
$t_3$ [mm]	40	40	20	C14
$t_4$ [mm]	40	40	20	C14
$t_5$ [mm]	40	40	20	C30
<b>Total tykkelse</b> [mm]	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	

### 4.3. Forbindelser

Forbindelsene mellom elementene vil ikke kontrolleres, slik det ble redegjort for i avgrensningen. Kreftene som bygget er utsatt for er forholdsvis lave, og gruppen antar at det ikke vil kreve noen unormalt sterke forbindelser for å sikre lokal og global stabilitet. Dette kapittelet vil derfor presentere mulige løsninger for å forbinde konstruksjonsdelene sammen. Før foreslåtte forbindelser benyttes er det viktig å kontrollere antall skruer og avstanden mellom disse.

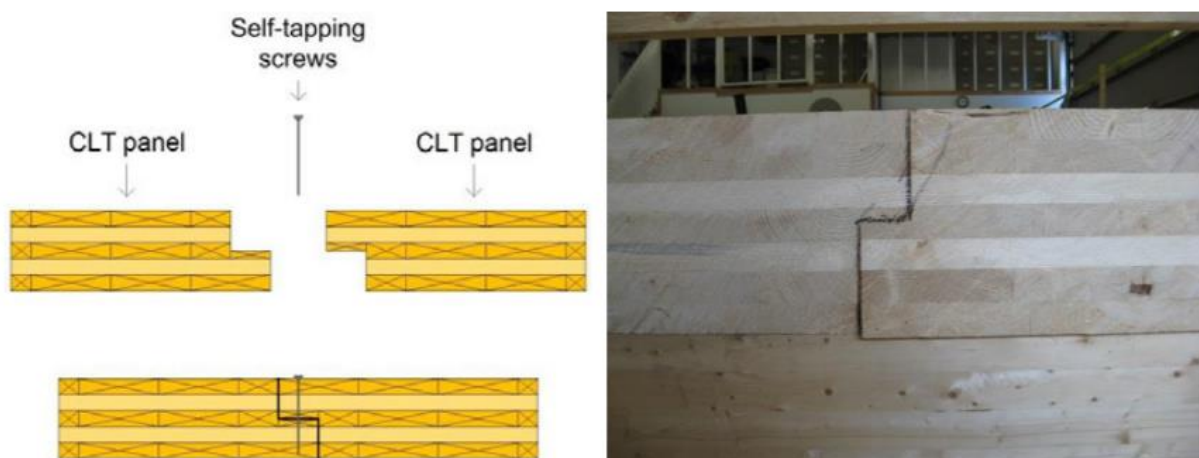
### 4.3.1. Forbindelser i planet

Det er flere måter å forbinde elementer i planet på. Dette er noe som gjøres mellom elementene i veggen og på taket. I følge Karacabeyli og Gagnon (2019) er en enkel laskeforbindelse en foretrukket måte å løse forbindelsen for taket, da den er enkel å montere. Dersom man ønsker økt styrke, kan også lim benyttes. Se figur 33 for gjennomførelse av forbindelsen.



Figur 33. Enkel laskeforbindelse (Karacabeyli og Gagnon, 2019).

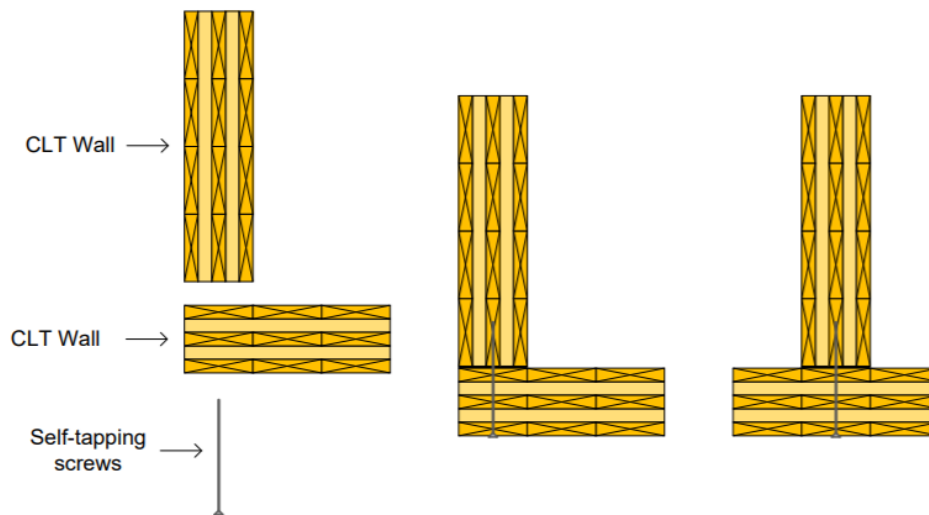
Mellom veggskivene er det lettvis å benytte halvt utsparede elementer, som festes med skruer. En slik løsning som dette kan også benyttes mellom takelementene. Se figur 34.



Figur 34. Forbindelse mellom veggelementer (Karacabeyli og Gagnon, 2019).

### 4.3.2. Hjørneforbindelser

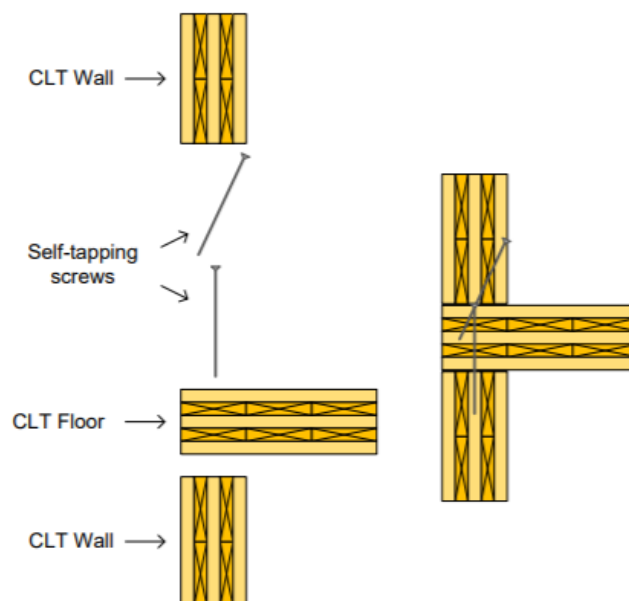
Vegg-til-vegg forbindelser kan også løses på flere måter, både med og uten braketter. Gruppen foreslår å benytte en løsning uten braketter. Se figur 35 for eksempel på utførelse. Fordelen med denne løsningen er at den enkelt kan utføres fra utsiden av bygget (Karacabeyli og Gagnon, 2019).



Figur 35. Vegg-til-vegg forbindelse med skrue (Karacabeyli og Gagnon, 2019).

#### 4.3.3. Yttervegg og etasjeskiller

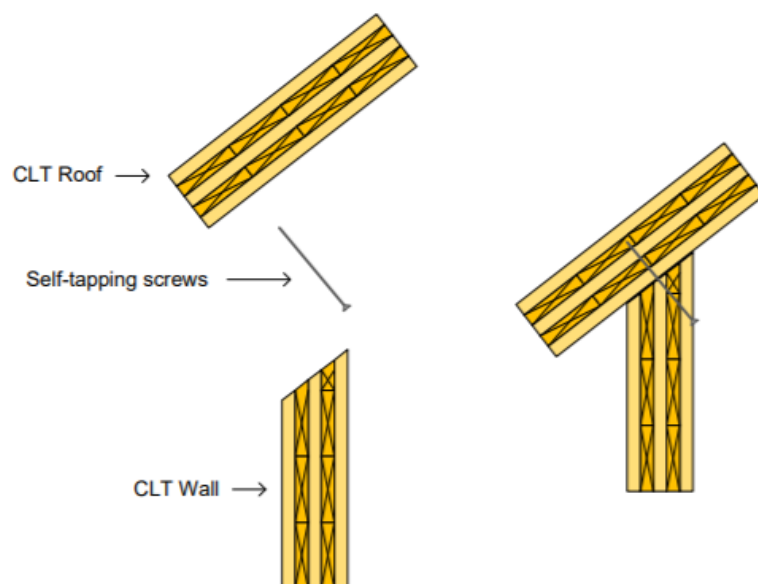
Forbindelsen mellom yttervegg og etasjeskiller kan også løses ved hjelp av braketter. Gruppen velger å anbefale en løsning med kun skruer, da brakettene kan bli synlige inne i leilighetene. Se figur 36 for mulig utførelse. Her kan sylomer benyttes for vibrasjonsdemping mellom yttervegg og etasjeskiller.



Figur 36. Forbindelse mellom yttervegg, etasjeskiller og yttervegg (Karacabeyli og Gagnon, 2019).

#### 4.3.4. Yttervegg og tak

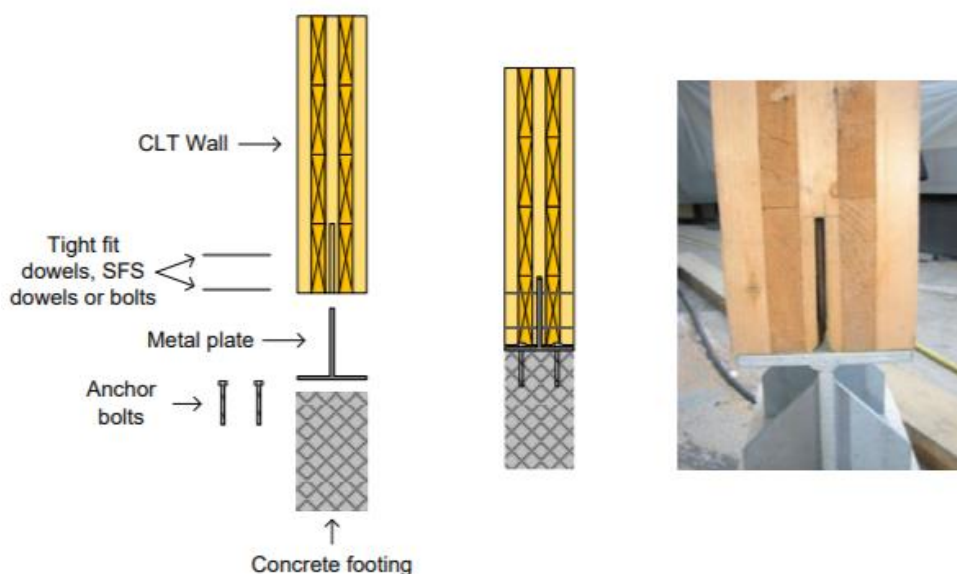
Forbindelsen mellom yttervegg og tak gjennomføres enkelt ved skruer, men kan også gjøres med brakett. Løsningen med skruer er valgt på bakgrunn av at brakettene kan bli synlige dersom det ikke legges innvendig kledning på massivtreet. Se figur 37 for mulig utførelse.



Figur 37. Forbindelse mellom yttervegg og tak (Karacabeyli og Gagnon, 2019).

#### 4.3.5. Yttervegg og fundament

Forbindelsen mellom yttervegg og fundament er en viktig del av kraftoverføringen, og det er avgjørende at denne er sterk. Av estetiske hensyn er en skjult forbindelse å foretrekke. En slik skjult løsning er presentert i figur 38, og krever utslissing av veggelementet.

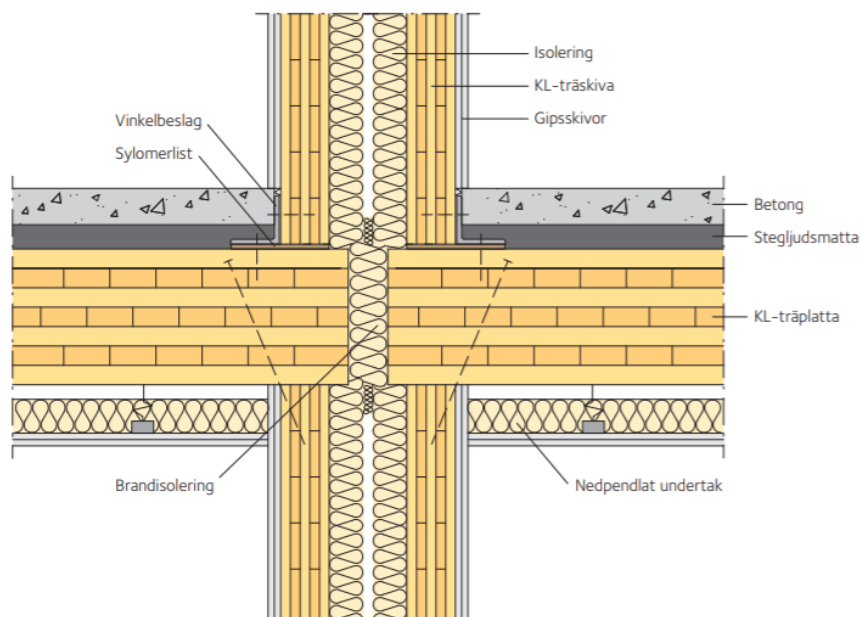


Figur 38. Forbindelse mellom yttervegg og fundament (Karacabeyli og Gagnon, 2019).

#### 4.3.6. Innervegger og etasjeskiller

For leilighetsbygg er forbindelsen og overgangen mellom leilighetene viktig. Rent statisk vil det være gunstig med en kontinuerlig plate gjennom hele bygget, men for å tilfredsstille lyd- og brannkrav er ikke dette praktisk mulig. Man er derfor nødt til å gjennomføre disse overgangene på en måte som gjør at det blir minimal overføring av lyd og vibrasjon

mellom leilighetene. Se figur 39 for mulig løsning. Merk at løsningen har dobbel innervegg, men dette er som nevnt tidligere ikke dimensjonert eller kontrollert.



Figur 39. Mulig løsning for overgang innervegg og etasjeskiller (Svenskt Trä, 2017) .

## 5. Diskusjon

I dette kapitlet vil gruppen redegjøre for de valg som er gjort i beregningsgangen. Det vil også bli diskutert teori rundt tidsbruk i massivtreprosjekter.

### 5.1. Beregninger

#### 5.1.1. Avgrensninger

Gruppen valgte ut tak, etasjeskiller og yttervegg som de konstruksjonsdelene som skulle dimensjoneres. For en fullstendig dimensjonering må også andre deler kontrolleres, blant annet innerveggene. Disse betraktes som bærende i denne oppgaven, men dimensjoneres eller kontrolleres ikke.

Etasjeskiller har kun blitt kontrollert for tverrlast, selv om den reelle lastsituasjonen vil innebære en horisontal komponent fra vindlasten. Gruppen anser likevel tverrlasten som den mest kritiske, da vindlasten på yttervegg vil utgjøre lite ekstra belastning på elementet.

#### 5.1.2. Valg av betraktede områder

Gruppen har betraktet det de anser som mest utsatte områder i bygget. Dette er gjort etter ingeniørfaglig skjønn på bakgrunn av flere faktorer. Herunder ligger et spesielt fokus på de største spennviddene til bygningen. Takelementet har størst spennvidde på den sørlige delen, og er dermed antatt å være den mest utsatte takflaten.

Betraktet etasjeskiller befinner seg i andre etasje. Etasjeskillerne i bygget har i stor grad like spennvidder, slik at plasseringen i bygget ikke er kritisk. Det vil være tilsvarende last på etasjeskillerne i andre og tredje etasje, så valget av etasje var ikke vesentlig.

Valg av vegg å betrakte, og metoden for beregning, var av større betydning. Gruppen kunne valgt å se på vegg som kontinuerlig over begge etasjene med avstivning i andre etasje fra etasjeskiller. Da ville det vært last i toppen og last fra etasjeskiller midtveis. Det ble valgt å betrakte vegg som en fritt opplagt veggskive med punktlast i toppen og tverrlast fra første til andre etasje. Laster fra både tak, etasjeskiller i andre og tredje etasje, samt overliggende vegg ble inkludert. På denne måten kunne kontroll av knekking av vegg gjøres etter metode gjengitt i KL-trähandbok. Gruppen anser dette som et trygt valg, da høyden på vegg er relativt liten og det er god margin på sikkerhet mot knekking.

### 5.1.3. Valg av beregningsmetode

Gruppen kontrollerte valgte dimensjoner med håndberegninger. Beregningsgangen tar utgangspunkt i de metodene studentene har lært i løpet av undervisningen på studiet, samt metoder beskrevet i KL-trähandbok. Her er mulige feilkilder at det har oppstått avvik fra beregningsgangen eller de benyttede formlene. Feil bruk av tabellverdier, eller følgefeil på grunn av eksempelvis gal lastberegning, er to eksempler på andre feilkilder.

For beregning i både brudd- og bruksgrense ble platene betraktet som bjelker. Dette legger resultatene på sikker side, da Larsen (2004) har vist at de maksimale momentene reduseres ved å betrakte elementene som toveisplater. Til tross for at det plasserer resultatene på sikker side, medfører det en risiko for overdimensjonering og dårlig økonomi. Gruppen er likevel fornøyd med valgte dimensjoner, da utnyttelsesgraden er relativt god og elementene har fornuftig tykkelse.

### 5.1.4. Valg av dimensjoner

Som redegjort for i 5.1.3, er det sannsynlig at de maksimale spenningene i realiteten er lavere enn beregnet. Med lavere spenninger vil dimensjonene kunne reduseres. Gruppen anser likevel dimensjonene som fornuftige, da disse er hentet fra tabulerte tverrsnittoppbygninger fra Byggforsk og KL-trähandbok. Takelementet viste seg å ha for lav dimensjon ved bruksgrensekontroll, og ble justert opp for å klare nedbøyningskravet.

Fasthetsklassene til sjiktene i de ulike elementene er viktige for den totale og gjennomsnittlige bøyefastheten. I samtlige elementer ble det valgt en høy fasthetsklasse på de ytre sjiktene, og en lavere fasthetsklasse i de midtre sjiktene. Dette er fordi bøyespenningsene er høyest i sjiktene lengst fra elementets arealsenter. Fasthetsklassene C30 og C14 valgt, med fasthetsverdier oppgitt i KL-trähandbok. Gruppen ser det likevel som plausibelt at det ved lavere fasthetsklasse i ytre sjikt kan oppnås høyere utnyttelsesgrad.

Etasjeskilleren ble kontrollert for en elementtykkelse på 200mm. Gruppen anser det som en mulighet at en lavere dimensjon kunne ha vært aktuell dersom man regner med statisk samvirke mellom betongstøp i topp, og selve massivtre-elementet. Da vil samvirket sørge for at betongen tar opp trykk i overkant og massivtreet tar strekk i underkant. Dette samvirket er noe som kan og bør kontrolleres, for å oppnå bedre materialutnyttelse og dermed reduserte kostnader.

## 5.2. Tidsbruk

Kremer og Symmons (2015) beskriver den største fordelene med massivtre som redusert tidsbruk på byggeplass. Dette underbygges av flere studier redegjort for i kapittel 3. Connolly *et al.* (2018) fant at råbygget til et 18-etasjes campusbygg i massivtre ble



montert på ti uker. Yates, Linegar og Dujic (2008) fant at et leilighetskompleks på åtte etasjer hadde en innsparing på 17 uker, tilsvarende 26%, ved at det ble bygget i massivtre kontra plasstøpt betong.

Walsh (2013) oppgir at man oppnådde en byggetid som var 30% kortere enn hvis det ble bygget med tradisjonelle byggematerialer. Halseth (2019) fant at en boligblokk på åtte etasjer i massivtre hadde 40% kortere byggetid og 25% kortere total prosjekttid, sammenlignet med en boligblokk på fem etasjer i stål og plasstøpt betong. Smith *et al.* (2016) fant at den gjennomsnittlige tidsbesparelsen ved å bruke massivtre kontra stål og betong var 20%. Dette til tross for at det var flere pilotprosjekter i studien.

På den annen side fant Finstad (2014) at entreprenørene oppfattet prosjekteringsfasen som forlenget, sammenlignet med stål og prefabrikkerte betongelementer. Det samme påpeker Kremer (2018), som oppgir at prosjekteringsfasen er den mest krevende. For entreprenørene Finstad (2014) intervjuet, var det spesielt de tekniske utfordringene med akustikk og brann som hadde stor innvirkning på prosjekteringstiden og -kostnadene. I den samme undersøkelsen ble det fra byggherre og leverandør ikke bemerket økt prosjekteringstid, men at grundig prosjektering er viktig for et godt resultat (Finstad, 2014). Samtlige aktører som ble intervjuet av Finstad (2014) var likevel enige i at byggetiden var rask. Veidekke antok at byggetiden var 30-40% kortere enn om tilsvarende konstruksjon skulle blitt bygget i stål og betong. Kremer (2018) underbygger Veidekkes antagelse om tidsbesparelse, og antar at entreprenører med kunnskap og erfaring innenfor bruk av massivtre vil kunne spare inn 30%.

## 6. Konklusjon

Hovedspørsmålet for denne delen av oppgaven er hvorvidt Kvisgårdshjørnet kunne bli bygget med massivtre som bærende materiale, og om tilgjengelig prosjekttid ville vært tilstrekkelig for å rekke tidsfristen. En ser av kapittel 4 at det rent bygg- og konstruksjonsteknisk sett vil være uproblematisk å gjennomføre Kvisgårdshjørnet i massivtre, og samtidig tilfredsstillende krav til akustikk og brann. Total tidsbruk i prosjektet er dermed det avgjørende punktet. At Syljuåsen ikke har erfaring med bygging i massivtre er av betydning for tidsbruk, men ikke kritisk. Dette viste Smith *et al.* (2016), der flere pilotprosjekter hadde redusert prosjekttid. Kremer (2018) peker på at det er viktig med en nøyaktig prosjektering. Dette kan være vanskelig å få til i sitt første prosjekt, men de store leverandørene av massivtre-elementer har god erfaring med prosjektering og kan bistå i denne fasen. Byggetiden har i samtlige undersøkte studier (Halseth, 2019; Finstad, 2014; Smith *et al.*, 2016; Connolly *et al.*, 2018; Dujiè, Yates og Linegar, 2008; Walsh, 2013) vist seg å være kortere ved bruk av massivtre, sammenlignet med stål og betong.

Til tross for at Syljuåsen ikke har egen erfaring ved bruk av massivtre, konkluderer gruppen med at det er en overveiende sannsynlighet for at den tilgjengelige tiden på åtte måneder ville vært tilstrekkelig for å ferdigstille Kvisgårdshjørnet med bæresystem i massivtre.

### 6.1. Prosessen videre

Ut fra funnene gjort i Del 1 av denne oppgaven, stiller gruppen seg nye spørsmål: «Hvorfor velges ikke massivtre like enkelt som stål og betong?» «Er dette en avgjørelse man ville sett flere steder i bransjen?» Gruppen ble interessert i å undersøke årsaken bak valget som ble gjort i prosjektet til Syljuåsen. Samsvarer dette med de generelle holdningene og kunnskapene som finnes i bransjen, og hva bransjen tenker om videre bruk av massivtre? Er dette noe som kommer til å vedvare, avta eller vil bruken av massivtre øke?

For å få svar på disse spørsmålene bestemte gruppen seg for å gjennomføre intervju med informanter fra ulike deler av bransjen. Dette utgjør Del 2 av denne oppgaven.

## **Del 2**

---

## 7. Teori

I denne teoridelen vil det bli redegjort for aktuell litteratur. Denne danner et grunnlag for å kunne sammenligne gruppens egne intervjuer med resultater fra tidligere forskning. De tre aktuelle studiene vil bli presentert hver for seg. Aktuelle tema og resultat fra studien blir belyst.

### 7.1. Studie 1

Kremer og Symmons (2018) fant at det var flere ulike grunner til hvorfor massivtre ikke har større utbredelse i Australia. Gjennom et middels strukturert intervju ble det stilt spørsmål rundt bevisstheten om bruk av massivtre som materiale, nytten av massivtre sammenlignet med tradisjonelle bæresystem, og hvordan oppfatninger om massivtre skaper hindringer i bruken av materialet.

Intervjuene inkluderte folk fra ulike roller i bransjen: entreprenør, eiendomsutvikler, arkitekt, produsent, håndverker og forsikringsagent. På denne måten kunne forskerne få svar på de samme spørsmålene, fra personer med ulike perspektiver.

#### 7.1.1. *Oppfatning av massivtre*

På spørsmål om generell oppfatning av massivtre hadde de ulike svar basert på sin rolle i bransjen. Forsikringsagenten peker på at et bygg i tre vil ha en høyere forsikringskostnad, sammenlignet med et bygg i betong eller teglstein. Dette på grunn av den økte brannfaren. En eiendomsutvikler mener at treindustrien har solgt inn massivtre som den eneste gode løsningen i bygninger, men peker på at en bygning trenger andre materialer for å oppnå stabilitet. Dette støttes opp av en produsent som svarer at massivtre har sine fordeler til bruk i et bygg, men ikke nødvendigvis som det eneste materialet i hele bygget.

En annen produsent mener på sin side at det er en økende interesse for bruk av massivtre. Denne produsenten antar at bygg fra fire til 15 etasjer er det optimale bruksområdet for materialet. En tredje produsent poengterer at å benytte massivtre enda er nytt, og at folk i bransjen må endre byggeprosessen fra start til slutt, for å virkelig utnytte fordelene ved prefabrikasjon av massivtre-elementer.

En leverandør mener en stor hindring for bruken av materialet er at det enda er mye uvisshet, som følge av liten erfaring. Det stilles spørsmålstegn ved antatt pris og byggetid, og dette skaper tvil om materialet. Brannsikring er en stor problemstilling når det kommer til massivtre, og for flere av bransjeaktørene er dette et tema. Leverandøren mener også det oppstår utfordringer når ulike materialer med forskjellige egenskaper blandes i en

konstruksjon, og spesielt med tanke på brannprosjektering. En forsikringsagent mener at det nok vil ta flere år med innsamling av data og forskning før forsikringsprisen reduseres.

Likevel er det også positive oppfatninger, og en eiendomsutvikler sier: «Vi skal gjøre ett prosjekt etter et annet, for å bevise at det er strukturelt sterkt nok og oppfyller alle krav». I studien stilles også spørsmålstegn ved tidsbruken. Selv med kortere byggetid er det totalt sett en marginal inntjening på tid. En annen eiendomsutvikler mener at tid i prosjektering og byggefase kan reduseres med til sammen 4%, noe som ifølge vedkommende ikke er nok. At det fremdeles er en relativt ny teknologi gir også økt risiko tilknyttet prosjektet, mener både en arkitekt, håndverker og eiendomsutvikler.

Termitter og andre problemer anses som store problemer for kunder i Australia. Dette mener en arkitekt må bli adressert på lik linje som pris, byggetid og løsninger for håndverkere. Frykten for fuktskade er også noe som svekker ryktet til materialet, mener en håndverker.

### *7.1.2. Bruk av massivtre*

Ifølge en arkitekt er økt bærekraft en av fordelene med bruk av massivtre, sammenlignet med tradisjonelle bæresystemer. I tillegg gir bruk av massivtre en raskere levering av prosjektet, noe som igjen fører til høyere inntjening og marginer, med behov for færre ansatte på byggeplass. En annen arkitekt ser også de største fordelene i miljøaspektet. Vedkommende ser på kostnadene som en problemstilling som er mulig å løse. Noen av tiltakene kan være en økt strømlinjeforming i produksjonen, som igjen gir reduserte kostnader. I tillegg pekes det på redusert tidsbruk i byggetid, som er en nøkkelfaktor når det kommer til å gjøre massivtre til et godt alternativ, fordi det har en direkte sammenheng med kostnad. En leverandør støtter oppunder denne påstanden, og mener at den store fordelen med massivtre er den korte byggetiden, i tillegg til lav egenvekt. En produsent mener at prefabrikking av hele elementer er et stort fortrinn, og at det i fremtiden kan leveres ferdige yttervegger med vinduer allerede montert.

### *7.1.3. Konklusjon*

Studien gikk ut på å kartlegge de opplevde barrierene som eksisterer rundt bruk av massivtre. Studien har dermed ingen konklusjon i tradisjonell forstand. Kremer og Symmons (2018) presenterer likevel ulike anbefalinger for å få bukt med de opplevde barrierene. Dette er blant annet utveksling av erfaring og kunnskap med europeiske organisasjoner, drive lobbyvirksomhet mot forsikringsbransjen, preaksepterte løsninger for tekniske utfordringer og full-skala testing.

## 7.2. Studie 2

Petter Halseth (2019) gjennomførte intervjuer med både prosjektledelse fra Veidekke og håndverkere fra underentreprenører, i forbindelse med sin masteroppgave.

Masteroppgaven var en case-studie der to bygg ble sammenlignet ved hjelp av ulike parametere:

- Byggetid
- Kostnad
- Kvalitet
- HMS

Det ene prosjektet ble kalt MP3, og er en boligblokk på åtte etasjer med bæresystem i massivtre, bygd uten tak-over-tak. Det andre ble kalt MP2 og er også en boligblokk, men med fem etasjer og bæresystem i stål og plasstøpt betong. Målet med oppgaven var å svare på problemstillingen: «Hvordan kan det bli økonomisk fordelaktig for en entreprenør å bygge boligkomplekser (boligblokk) i CLT (massivtre) sammenlignet med tradisjonelle bygg i stål og plasstøpt betong?».

### 7.2.1. Tidsbruk

Byggetiden i prosjektet ble gjennom dokumentstudier og intervju funnet å være 40% kortere for MP3 sammenlignet med MP2. Fremdriften i de to prosjektene skulle være forholdsvis i takt. Det antas at dersom det var to uavhengige prosjekter kunne MP3 ha vært ferdig to til tre måneder raskere enn MP2. Veidekke sier i intervjuet at massivtre-bygg krever mer tid i prosjekteringsfasen, men at byggetiden potensielt kan reduseres med to til tre måneder. De oppsummerer likevel at brannsikringstiltak og innredningsfase generelt tok mye tid. Også underentreprenørene erfarte omfattende prosjektering i forbindelse med MP3 sammenlignet med MP2. Prosjekteringen i MP3 måtte være ferdig tidligere enn normalt. Det ble også stilt spørsmål til årsaken bak forskjellene mellom MP2 og MP3. Veidekke forklarer at dårlig effektivitet i arbeidet skyldes nye oppgaver, innkjørings- og opplæringstid, samt økt møtevirsomhet for avklaringer og forklaringer av oppgaver. Det var også nødvendig med store mengder gips som følge av lyd- og brannkrav.

Underentreprenørene peker på den lange produksjonstiden til massivtre-elementene, som kom overraskende på. Det sies at forutsetningene ikke var avklart på forhånd. De opplevde at prosjekteringen måtte revideres flere ganger på grunn av løsninger som ikke ble godkjent av en ansvarlig byggerådgiver (RIB). Også med brann- og lydrådgivere opplevdes det utfordrende, da løsninger måtte godkjennes hos rådgiver. Disse avklaringene opplevdes å ta tid. I tillegg ble de ulike informantene bedt om å redegjøre for hvordan tidsbruken kan reduseres i senere prosjekt. Sett bort fra ting som går på logistikk og mangel på takt i gjennomføring, er det et par punkter som er helt spesifikke for

massivtre-elementer. Tilbakemeldingen er at det burde vært utslisset for el-bokser, ett lag gips festet direkte på massivtreet i himlingen, samt at himlingsisolasjonen festes før tekniske fag starter montasje.

Forfatteren fulgte lags- og basmøter underveis, og observerte arbeidsprosessen. Hans observasjoner har også blitt redegjort for i oppgaven. Gjentakende problemer som ble tatt opp møtene var med himlingsarbeider, forsinket fremdrift på grunn av omfattende arbeider med stål og gips på innervegger og generelt omfattende arbeid med himling. Andre temaer i møtene var usikkerhet rundt lydkrav og konstruksjonstekniske hensyn, der ting måtte sjekkes med rådgivere. Usikkerheten omfattet også branntetting, og flere fag visste ikke hva som skulle gjøres.

### 7.2.2. Økonomi

Kostnadsspørsmålet i forbindelse med massivtre ble også undersøkt, både ved dokumentstudier og ved intervju. Fra dokumentstudiene ble det funnet at de største kostnadsdriverne til MP3 var:

- Store kostnader knyttet til elementproduksjonen
- Tekkingsarbeidene, 50% dyrere
- Tynnavrettingen, 80% dyrere
- Branntettingen, 135% dyrere
- Materialkostnader som skyldes økte mengder gips, himlingsstål og tetningsprodukter, 30% dyrere
- Prosjekteringen for brann og akustikk, 140% dyrere

Alt dette er sett i forhold til MP2. I intervju med Veidekke ble det pekt på tidkrevende arbeidsoppgaver som gipsing og fasadearbeider, samt flere runder med branntetting for hver utsparing.

Underentreprenørene så ingen økonomisk gevinst ved bruk av massivtre-elementer sammenlignet med stål og betong. De erfarte i tillegg økte kostnader i prosjekteringsfasen, samt en fordyrende prosess på grunn av brannkrav. Også her ble årsakene til kostnadsforskjellene mellom MP2 og MP3 redegjort for. Veidekke på sin side mener at mye av kostnadene kommer fra at prosjektet var nybrottsarbeid. Samtidig var det importerte massivtre-elementer. Det var en totalentreprise inkludert montasje, og kun en tilbyder ble vurdert. De økte mengdene gips og tynnavretting på grunn av brann- og lydkrav var også en årsak. Underentreprenørene peker på mange av de samme tingene som Veidekke, men understreker spesielt tiden brukt i prosjekteringsfasen, dårlig planlegging, og at brannrådgiver måtte skissere alle løsninger som skulle benyttes.

For å redusere kostnadsnivået i fremtidige prosjekter trekkes det frem flere konkrete byggetekniske forhold. Dette er blant annet å redusere mengden gips, tynnavretting og

tidsbruk på arbeider på fasade og himling. Også redusert kostnad for massivtre-elementene og montasje trekkes frem, sammen med klarhet i løsning og konsept på forhånd. Forhåndsgodkjente løsninger for tetningsmasse for massivtre, slik at brannrådgiver ikke er nødvendig underveis blir også nevnt.

### *7.2.3. Kvalitet*

Av kvalitetsavvik var det registrert flere feil i MP3 sammenlignet med MP2. Det var 37 mot 14 ved overlevering av råbygg, og 71 mot 54 ved innvendige arbeider. Dette tilsvarer en forskjell på henholdsvis 60% og 20%. I intervju om kvalitet sier Veidekke at det var god kvalitet på produksjonsunderlaget, men at ferdiggraden på prosjekteringen var dårligere enn normalt i starten av produksjonsfasen. Til tross for prosentmessig store forskjeller i avvik, anser Veidekke dette som få punkter og tilnærmet likt i begge bygg.

Underentreprenørene mente at det krevdes høy presisjon for slissing og utsparing i massivtre-elementene, og man måtte tilbake og rette feil. De poengterer også at det er uvisst hvordan bygget vil oppføre seg over tid; om det vil oppstå punkter som må rettes opp etter hvert. Årsaken til forskjellene i kvalitet ligger i stor grad på at prosjekteringsfasen gikk inn i produksjonsfasen, på grunn av kompleksiteten og mange nye løsninger. Dette går også igjen på spørsmål om hvordan kvaliteten kan heves. Fokuset bør ligge på bedret prosjektering med tidligere avklaringer og ferdige løsninger i god tid før produksjon.

### *7.2.4. HMS og trivsel*

HMS og trivsel ble også undersøkt. Generelt scoret MP3 bedre enn MP2 på alle de målte parameterne:

- Trivsel
- Støy
- Støv
- Generelt arbeidsmiljø
- Ryddighet
- Sykefravær

Tunge arbeider var det eneste punktet der MP3 kom dårligere ut enn MP2. I intervju sier både Veidekke og underentreprenør at arbeidsmiljø, støv, støy og ryddighet var positivt, men at mengden branngips førte til mange tunge løft. Underentreprenør sier også at det å gå på trevirke er positivt sammenlignet med betong, og at lysere overflater gir bedre lys og skaper en lun stemning. For å ytterligere bedre HMS og trivsel trekkes det frem mindre gips, og hjelpemidler for å redusere belastningen gipsarbeidene gir.



### 7.2.5. Konklusjon

Oppgaven konkluderer med at det ikke er økonomisk gunstig å bygge med massivtre sammenlignet med stål og plasstøpt betong, med utgangspunkt i disse to prosjektene. Likevel er det flere interessante funn:

- Byggetiden var kortere
- Sluttresultatet var av høy kvalitet
- Det var bedre HMS
- Redusert sykefravær

Det blir også pekt på at det er mulig å bedre lønnsomheten gjennom effektiviserende tiltak, og at tall fra driftsfasen kan være med å påvirke hvorvidt massivtre vil være lønnsomt. Om det er mindre behov for vedlikehold vil det ha stor innvirkning på kostnadene, og dermed lønnsomheten til prosjektet.

## 7.3. Studie 3

Espinoza *et al.* (2016) gjennomførte en nettbasert spørreundersøkelse, der 53 respondenter fra 25 europeiske land deltok. Disse respondentene hadde ulike roller i byggebransjen. De oppgav forsker, ingeniør, lærer, rådgiver, arkitekt og «annet» som sine yrker. Målet med spørreundersøkelsen var å kartlegge bevisstheten rundt massivtre, hvilke barrierer som hindrer bruk av massivtre, og hvilke faktorer som er de mest kritiske å gjøre ytterligere forskning på omkring massivtre. Spørreundersøkelsen besto både av spørsmål med gitte svaralternativer, og spørsmål med muligheter for å svare fritt.

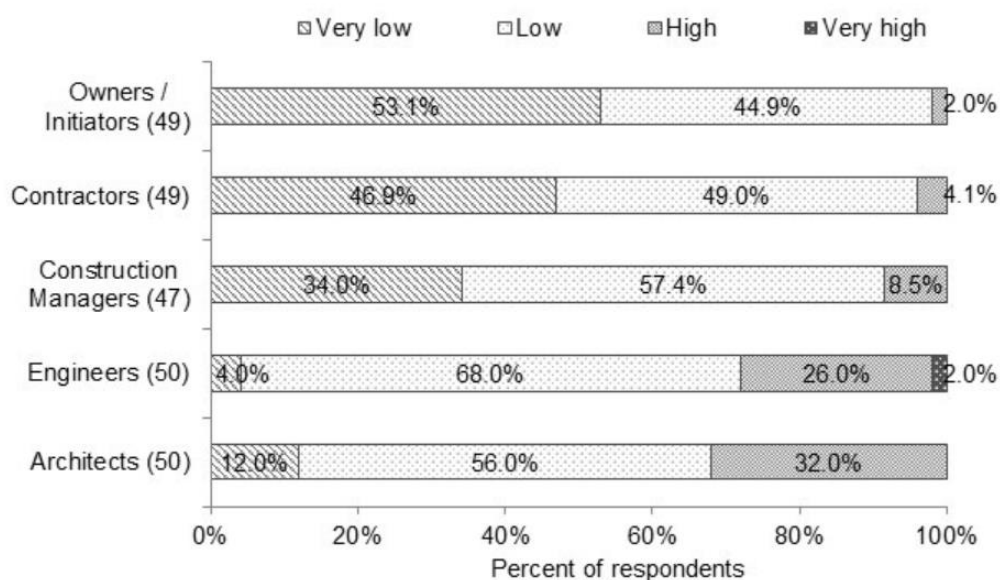
Aktuelle spørsmål og svar er presentert i de neste underkapitlene.

### 7.3.1. Bevissthet rundt massivtre

Tabell 13. Bevissthet rundt massivtre (Espinoza *et al.*, 2016).

Tema	Spørsmål	Type svar
Bevissthet	Hvor høy er bevisstheten, etter din mening, om massivtre i Europa for bransjeaktører? Herunder byggherrer, entreprenører, prosjektledere, ingeniører og arkitekter.	4 punkts skala: «veldig lav», «lav», «høy» og «veldig høy»

En ser av figur 40 at respondentene anser bevisstheten om massivtre som lav eller svært lav hos byggherrer, entreprenører og prosjektledere. Også ingeniørene og arkitektene anses å ha lav bevissthet om massivtre, skjønt noe høyere enn de overnevnte.



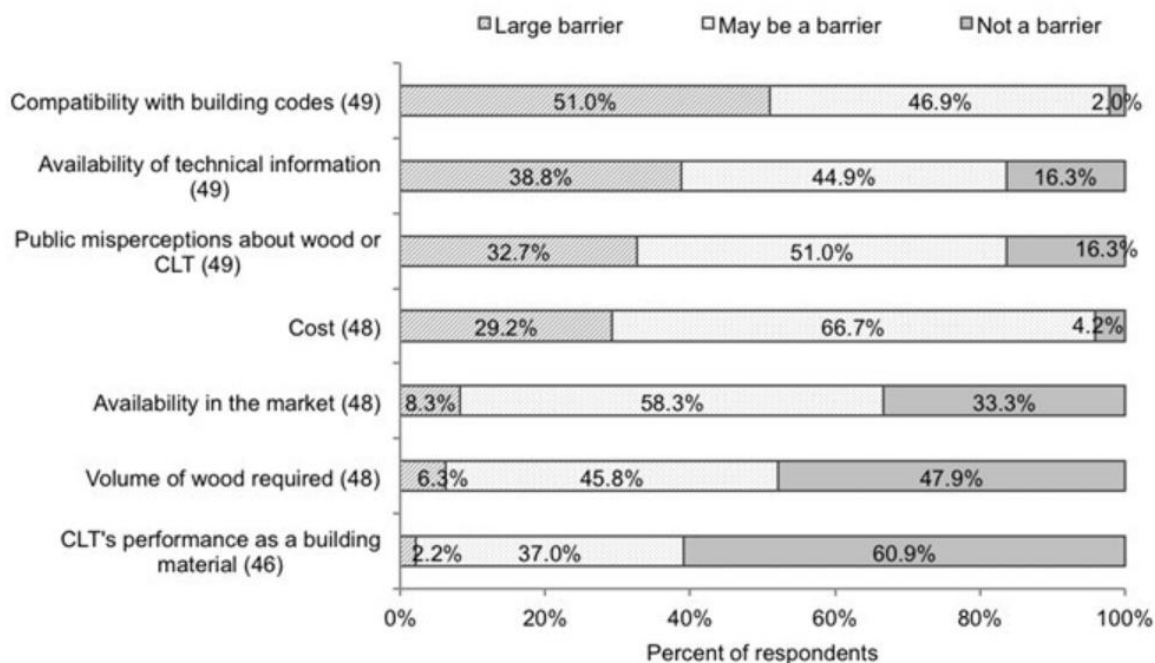
Figur 40. Opplevd bevissthet hos ulike bransjeaktører hos respondentene (Espinoza et al., 2016)

### 7.3.2. Barrierer som hindrer bruk av massivtre

Tabell 14. Barrierer som hindrer bruk av massivtre (Espinoza et al., 2016)

Tema	Spørsmål	Type svar
Barrierer som hindrer bruk av massivtre	Hva tror du er de viktigste barrierene som hindrer bruk av massivtre i Europa? Alternativer inkluderte: tilgang på tilstrekkelig trevolum, tilgang i markedet, kostnad, tilgang til teknisk informasjon, kompatibilitet med forskrifter, misoppfatninger rundt massivtre, og massivtre sin ytelse som byggemateriale.	3 punkts skala: «stor barriere», «kan være en barriere» og «er ikke en barriere»

Figur 41 viser hvilke barrierer respondentene anser som de største hindrene for å bruke massivtre. Man ser at kompatibilitet med forskrifter, tilgang på teknisk informasjon og misoppfatning om massivtre er de tre som anses som de største barrierene.



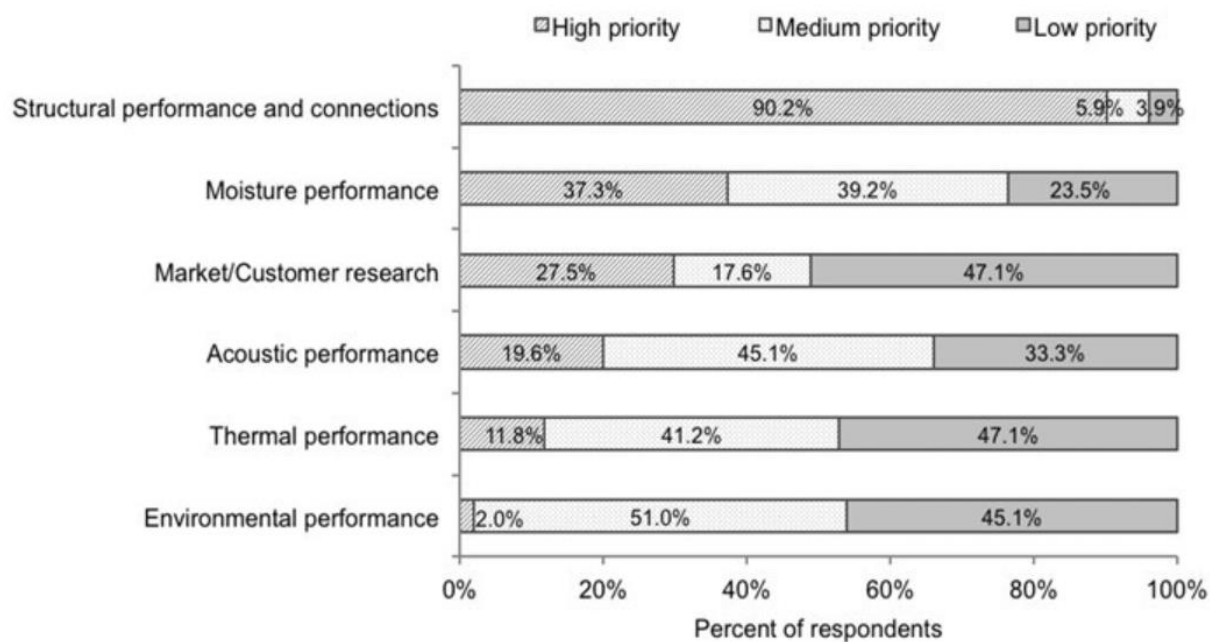
Figur 41. Barrierer som hindrer bruk av massivtre (Espinoza et al., 2016).

### 7.3.3. Kritiske forskningsområder

Tabell 15. Kritiske forskningsområder (Espinoza et al., 2016).

Tema	Spørsmål	Type svar
Forskningsområder	Vennligst rangerer de følgende forskningsområdene innenfor massivtre i henhold til viktighetsgraden. Alternativer inkluderte: strukturelle egenskaper og forbindelser, fukttekniske egenskaper, miljømessige egenskaper, termiske egenskaper, akustiske egenskaper, og marked/kunde.	Rangering fra viktigst (1) til minst viktig (6)

Figur 42 viser hvilke områder respondentene anser som de mest kritiske områdene å forske ytterligere på i forskningsområdet massivtre. Strukturelle egenskaper, forbindelser, fukttekniske egenskaper og markedsundersøkelser ansees å være de viktigste områdene for økt forskning.



Figur 42. De viktigste forskningsområdene for massivtre (Espinoza et al., 2016).

#### 7.3.4. Konklusjon

Studien konkluderer med at bevisstheten rundt massivtre i europeisk byggebransje er lav. Dette gjelder spesielt byggherrer, entreprenører og prosjektledere, men også for arkitekter og ingeniører. Ifølge respondentene er kompatibilitet med forskrifter, tilgang på teknisk informasjon og løsninger, og misoppfatninger, de tre største barrierene som hindrer bruk av massivtre. Av de mest kritiske forskningsområder på massivtre ble forbindelser og strukturelle egenskaper ansett som den aller viktigste, med fukttekniske egenskaper og markedsundersøkelser like bak. Forskerne bemerker at resultatene fra studien ikke kan generaliseres til hele det europeiske markedet.

## 8. Metode

Forskningsmetoder er fremgangsmåter som benyttes i vitenskapelig forskning, og utgjør de systematiske og planmessige fremgangsmåtene som brukes for å etablere pålitelig kunnskap og holdbare teorier (Grønmo, 2021). Hvilken metode som blir valgt sier noe om hvordan man bør gå til verks i arbeidet for å fremstille eller etterprøve kunnskap. Ut fra den problemstillingen som er utarbeidet, velger man den metoden man mener egner seg best til å svare på akkurat denne (Dalland, 2017).

Den norske filosofen Knut Erik Tranøy sier i sin bok *Vitenskap – samfunnsmakt og livsform*: «Å være vitenskapelig er å være metodisk» (Tranøy, 1986). I vitenskapelig forstand innebærer dette å bruke og overholde intellektuelle standarder i argumentasjonen. For å kunne etterprøve og få frem ny kunnskap trengs det nye metoder som kan være med på å undersøke i hvilken grad påstander er sanne, gyldige eller holdbare.

### 8.1. Kvantitative og kvalitative metoder

Forskjellen på kvantitative og kvalitative metoder er i hovedsak knyttet til hvordan man samler inn data (Dalland, 2017). De kvantitative metodene prøver å gå mer i bredden, mens de kvalitative går mer i dybden. Kvantitative metoder gir data i form av målbare enheter. De kvalitative metodene ser på vinklinger som ikke lar seg tallfestes. Jacobsen (2015) beskriver kvalitativ studie som en studie av få enheter der data samles inn som ord.

Det at de kvantitative metodene går i bredden betyr at man innhenter et lite antall opplysninger om mange undersøkelsesenheter (Dalland, 2017). Her ser man på gjennomsnitt, standardavvik og andre målbare resultater som kan sammenlignes. Dalland (2017) skriver at metoden kan ta for seg spørreskjemaer med faste svaralternativer, eller systematiske og strukturerte analyser. Innsamlingen av observasjoner skjer uten direkte kontakt med feltet, og innsamlingsdataene blir uavhengige. For å fremstille kunnskapen fokuseres det på forklaringer.

For de kvalitative metodene prøver man å finne så mange opplysninger man kan om få undersøkelsesenheter, og går dermed i dybden (Dalland, 2017). Det er mer fleksibilitet i fremgangen, blant annet ved intervju uten svaralternativer og ustrukturerte observasjoner. Det er meninger eller opplevelser som er viktig, og forskerne ønsker å få frem det spesielle eller avvikende. I disse metodene har forskerne mer påvirkning og kontakt med feltet, noe som gjør at forskerne ser fenomenet innenfra. I motsetning til

kvantitative metoder, som fokuserer på å forklare, tar de kvalitative metodene sikte på å formidle forståelse og ønsker gode beskrivelser, skriver Dalland (2017).

## 8.2. Valg av metode

Når det kommer til ordet *metode* tenker man oftest på en bestemt metode som benyttes, for eksempel spørreskjema, intervju eller observasjon (Dalland, 2017). Ved valg av metode i denne oppgave, ble det ikke lagt noen føringer på hvilke metoder som skulle benyttes. Når det skal gjøres et valg av metode, innebærer dette ofte overveielser mellom det en anser som den ideelle fremgangsmåte, og det som er praktisk gjennomførbart (Dalland, 2017).

Slik det står i kapittel 1.4 er denne Bacheloroppgaven delt i to. Del 1 tar for seg en beregningsdel, mens Del 2 er en forskningsdel. I forskningsdelen har gruppen valgt å gjennomføre intervjuer. Gruppen kunne benyttet kvantitativ metode, og på den måten fått et større og potensielt bredere kunnskapsgrunnlag for å besvare problemstillingen. Spørreskjema er en effektiv måte å gjennomføre kvantitative studier på, og kunne vært valgt i denne oppgaven. Spørreskjemaet kunne vært utformet på en slik måte at det lignet på tidligere gjennomførte studier på temaet. Det ble likevel vurdert dithen at en kvalitativ metode i form av intervju vil øke validiteten i denne delen av oppgaven. Dette var for å få frem de meningene, holdningene og synspunktene de ulike aktørene i bransjen hadde, noe en kvantitativ metode ikke egner seg til.

## 8.3. Intervju

Dalland (2017) forteller at i et intervju er det ønskelig å intervju en primærkilde. Fagfolk er dermed anbefalt. Det er viktig å finne personer med bestemte kunnskaper og erfaringer til et intervju. Den som blir intervjuet kan ifølge Dalland (2017) ta tre ulike roller. Om personen sitter med kunnskap som gir intervjueren informasjon, refererer man til personen som informant. Hvis personen svarer overordnet på spørsmål, som i en markedsundersøkelse, blir personen en respondent. Hvis personen er objekt for spørsmålene, kalles personen for intervjuobjekt. Som en nøytral betegnelse, som dekker alle tre rollene, kan man bruke intervjuperson. Når gruppen senere omhandler personene som er blitt intervjuet vil de bruke betegnelsen informant.

I hovedsak skal ikke intervjuet si noe om den enkelte, men gi et bedre bilde utover den intervjuede personen. Som student er det viktig å opplyse personen som intervjues at han eller hun bidrar til læring og praksis gjennom å delta. Det er videre viktig å tenke på at noen mennesker er innesluttet mens andre har et rikt språk. Dette vil påvirke besvarelsen på spørsmålene man stiller.

Jacobsen (2015) gjør rede for fire metoder for datainnsamling i en kvalitativ studie:

- Individuelt åpent intervju
- Fokusgruppeintervju
- Observasjon
- Dokumentundersøkelse

Det er ulike forutsetninger som gjør at de ulike metodene er mer eller mindre hensiktsmessige for sin undersøkelse. Det åpne individuelle intervjuet egner seg ifølge Jacobsen (2015) når relativt få personer skal undersøkes, når man er interessert i hva det enkelte individ sier, og når man er interessert i hvordan den enkelte fortolker og legger mening i et spesielt fenomen. Denne oppgaven oppfyller disse tre forutsetningene:

- Det er relativt få informanter
- Hva hvert enkelt individ sier er veldig interessant med tanke på de ulike rollene informantene har i bransjen
- På samme måte er det høyst interessant hvordan den enkelte fortolker og legger mening i de ulike tema det stilles spørsmål om

Det åpne individuelle intervjuet blir derfor valgt som metode for å innhente de kvalitative data.

### *8.3.1. Forberedelser*

Før et intervju er det informasjon som må deles med informantene, blant annet å informere om samtykke, anonymitet og taushetsplikt (Dalland, 2017). Det er viktig å opplyse informanten om hvordan intervjuet vil bli tatt vare på (Dalland, 2017). I denne oppgaven skrev informantene under på en samtykkeerklæring til lydopptak og godkjente transkripsjonen av lydopptaket i etterkant. Under intervjuet kan intervjueren stille klargjorte spørsmål eller peke på temaer man vil ha belyst. For begge parter kan en intervjuguide være gunstig, skriver Dalland (2017). En intervjuguide er en oversikt over hvilke temaer som skal berøres i løpet av intervjuet (Jacobsen, 2015). Denne hjelper både for faglig og mental forberedelse. Informant og intervjuer har begge en forhåndsopfatning, som vil prege samtalen.

I oppgaven skulle det benyttes anonymiserte opplysninger. Dette innebærer at opplysningene som presenteres i oppgaven ikke på noe som helst vis kan identifisere enkeltpersoner, verken direkte gjennom navn eller personnummer, eller indirekte gjennom bakgrunnsvariabler (Dalland, 2017). I denne oppgaven identifiseres informantene kun med rolle, kjønn og stillingstittel.

For å sikre informantenes personvern fulgte gruppen Norsk senter for forskningsdata (NSD) sine retningslinjer. Det ble utarbeidet et informasjonsskriv med tilhørende

samtykkeerklæring som ble undertegnet av samtlige informanter. Forskningsprosjektet ble også meldt inn og godkjent av NSD.

Jacobsen (2015) beskriver en av de viktigste grunnene til å velge kvalitativ metode til å være at man ønsker et representativt bilde av en populasjon. Dette innebærer at man ønsker et stort antall informanter til intervjuet, men av praktiske årsaker er man nødt til å gjøre en utvelgelse. «Hvem er vi interessert i å undersøke?» er ifølge Jacobsen (2015) et viktig spørsmål å stille seg i forkant av utvelgelsen. Det finnes mange måter å utføre slike utvelgelser på: fra Folkeregisteret, nummeropplysning eller andre registre (Jacobsen, 2015). For denne oppgaven er det ikke hensiktsmessig eller praktisk gjennomførbart å gå bredt ut. Gruppen har over tid opparbeidet et kontaktnett i bransjen, og dette ble benyttet for å finne informanter. For å få en bredde og viss representasjon fra bransjen ble det besluttet å inkludere informanter fra de ulike rollene i en byggeprosess: entreprenør, konsulent, leverandør og byggherre.

### *8.3.2. Gjennomføring*

Ifølge Jacobsen (2015) er det vanligvis fire ulike måter å gjennomføre individuelle intervjuer på:

- Ansikt-til-ansikt
- Telefon
- Chat
- E-post

Disse fire måtene ble åpenbart utarbeidet og sitert før 12. mars 2020, da covid-19 stengte landet. Gruppen har dermed måtte velge en femte måte å gjennomføre individuelle intervju på: Microsoft Teams. Dette er en videomøteplattform. Å gjennomføre intervju på denne måten har både fordeler og ulemper, og det på mange måter sammenlignes med ansikt-til-ansikt intervju. Ansikt-til-ansikt er egnet for å etablere tillit og åpenhet, og skape god flyt i samtalen (Jacobsen, 2015). Dette er effekter som gruppen antar kan overføres direkte til intervju over Microsoft Teams. Ansikt-til-ansikt vil være vanskelig å gjennomføre da enkelte informanter er vanskelig å få tak i på grunn av geografisk og sosial isolasjon (Jacobsen, 2015). Her har Microsoft Teams sin styrke, ved at de geografiske tilknytningene viskes ut og informanter har anledning til å stille på intervju fra hele landet. Dette bekrefter Jacobsen (2015) som siterer ulike kilder på at skillet mellom ansikt-til-ansikt-intervjuer og intervjuer foretatt over internett blir stadig mindre.

Strukturingsgraden av intervjuet er viktig å avklare, før datainnhenting begynner. Jacobsen (2015) anbefaler at man ser på strukturingsgraden som en glidende skala fra ett ytterpunkt med null struktur, plan og rekkefølge, og et annet ytterpunkt der intervjuet skal følge en gitt plan med faste spørsmål i rekkefølge. Intervjuguidene kan følge den samme strukturingsgraden som selve intervjuet. Jacobsen (2015) bemerker at ved sterk



strukturering kan spørsmålene bli slik at undersøkelsen nærmer seg den kvantitative metoden, men at intervjuet likevel er kvalitativt så lenge informanten kan svare med sine egne ord. Intervjuguiden ble utarbeidet med høy strukturingsgrad, hvor rekkefølge og oppfølgingsspørsmål var bestemt. Gruppen var likevel godt forberedt til intervjuene, og lot selve intervjuet foregå med forholdsvis lav strukturingsgrad; intervjuet lignet mer en samtale enn et intervju.

Intervjuguiden ble brukt som en rettesnor, slik at planlagte temaer ble belyst. Jacobsen (2015) anbefaler også aktiv bruk av oppfølgingsspørsmål ved to situasjoner: når man som intervjuer ikke forstår det informanten sier, eller når informanten kommer inn på et tema man vil dykke dypere ned i. Dette henger godt sammen med den lave strukturingsgraden i selve intervjuet, da det er åpent for å komme med slike oppfølgingsspørsmål.

### *8.3.3. Databehandling*

Etter intervjuene må datamaterialet analyseres. Jacobsen (2015) beskriver det første spørsmålet man må stille seg som «Hvordan skal vi trekke noe fornuftig ut av denne informasjonsmengden?». Praktisk analyse kan dreie seg om fire forhold:

- Dokumentere og beskrive dataene som er innhentet
- Utforske innholdet i dataene
- Systematisere og kategorisere dataene
- Sammenbinde, trekke forbindelser og sammenhenger mellom ulike kategorier

Dalland (2017) skriver at jo mer struktur man har rundt intervjusituasjonen, jo lettere blir det å analysere og strukturere intervjuet i etterkant. Dalland peker på at hensikten med det som sies bør tolkes, verifiseres og kommuniseres før intervjuets slutt. Til etterarbeid blir det viktig å ta vare på samtalen, som er minst like utfordrende som gjennomføringen av selve intervjuet (Dalland, 2017). Til dette er lydopptak et uvurderlig hjelpemiddel.

Å kategorisere datamaterialet er en viktig del av databehandlingen. Ved å ha en ferdig intervjuguide har man på forhånd definert noen kategorier, da spørsmålene man stiller ofte er rettet inn mot spesifikke temaer. Dette danner grunnlaget for kategoriseringen (Jacobsen, 2015). Etersom intervjuet i seg selv har lav strukturingsgrad kommer man likevel inn på andre temaer, og det er dermed viktig å ikke låse seg til temaene som er oppgitt i intervjuguiden. Antallet kategorier kan også bli overveldende, og man må avgrense. Jacobsen (2015) oppgir et minstekrav om at en kategori må være relevant for minst to av informantene i undersøkelsen. Samtidig påpeker Jacobsen (2015) at en kategori ikke kan være så generell at alle informantene passer inn i den. Slike kategorier anbefales å splittes opp i underkategorier.

Sammenfatningen og sammenbindingen av data er det neste og viktige punktet i en kvalitativ dataanalyse. Når ulike svar på de samme spørsmålene dukker opp i analysen, må man lete etter forhold som skiller de ulike informantene (Jacobsen, 2015). Dette kan være spørsmål om hvorvidt man har vært med på et massivtreprosjekt eller ikke, noe som kan påvirke hvilke tanker informanten har om de ulike spørsmålene.

Alle gruppemedlemmene leste nøye gjennom transkripsjonene og forsøkte å danne et overordnet bilde av hvert enkelt intervju. Alle intervjuene ble gjennomført i løpet av én uke, så en slik gjennomlesing var svært nyttig for å bedre huske hva som ble snakket om og diskutert. Deretter ble transkripsjonene systematisk gjennomgått for å identifisere og kategorisere gjennomgangstemaer. Denne kategoriseringen dannet grunnlaget for resultatkapittelet.

## 8.4. Mulige feilkilder

I arbeidet med en oppgave vil man komme over aspekter som kan skape feil og usikkerhet i resultatene. Dette er faktorer man i arbeidet må være klar over. Her belyses noen feilkilder innenfor litteraturstudien og intervjuene.

I litteraturstudien kan det være en feilkilde at noen referanser er vanskelige å spore tilbake til førstehåndskilden. Det er svært viktig med god kildekritikk og nøye vurdering av kildene etter metodene. I kapittel 3.1.3. og kapittel 3.1.4. redegjøres det for hvordan gruppen har gått frem i kildevurderingen. Kildekritikk er særlig viktig på grunn av varierende kvalitet på eksisterende forskning. Mye av bakgrunns litteraturen til oppgaven har vært på engelsk, og ved oversetting til norsk og gruppens tolkning kan det være både språklige og kulturelle misforståelser. Dette gjelder også for litteraturen i Del 1.

Samlet sett hadde gruppen lite erfaring med gjennomføring av intervju. Under intervjuene opplevde gruppen det som vanskelig å unngå ledende spørsmål. Det var et mål om å stille åpne spørsmål slik at informanten ikke ble ledet i en bestemt retning av gruppen. Dette var tydelig i transkriberingen av intervjuene. Samtidig gjorde de åpne spørsmålene at enkelte svar ikke var like relevante for oppgaven. Det ble tydelig for gruppen at enkelte intervjuer kunne komme litt ut av kontekst. Dette hadde innvirkning på validiteten til intervjuene, da enkelte svar fra informantene ikke kunne benyttes videre i oppgaven.

## 9. Resultat

I følgende kapittel vil resultatene fra intervjurunden bli presentert skjematisk. Svarene er hentet direkte fra transkripsjonene og kan derfor ha muntlig form. Gruppen har valgt å dele intervjuene inn i passende temaer basert på svarene som kom frem. Under hvert tema vil gruppen gi en kort presentasjon av hvilke spørsmål som ble stilt. Dette er for at leser skal få et nødvendig grunnlag til å forstå svarene som er presentert her. I intervjurunden ble ikke alle spørsmål besvart av samtlige informanter, da enkelte spørsmål ikke var relevante for alle informantene. I noen tilfeller var også begrenset tid årsaken til at noen spørsmål ikke ble stilt.

Som utgangspunkt til denne intervjurunden ønsket gruppen å snakke med to informanter fra hver av de følgende rollene i byggebransjen: entreprenør, konsulent, leverandør og byggherre. I arbeidet med å skaffe informanter hadde en av byggherrene noe begrenset tid til å gjennomføre et intervju. Gruppen bestemte derfor å ta kontakt med to byggherrer fra denne bedriften, men dele opp intervjuet i to deler slik at alt ble dekket gjennom disse to informantene. Dette er grunnen til at byggherrerollen er dekket med tre informanter, mens resterende består av to informanter.

Gruppen fortalte informantene i starten av hvert intervju, at det ikke bare var deres egne meninger som var relevante. Det var også interessant å høre hvilke inntrykk de hadde fått fra andre deler av bransjen. Dette var med på å skape et større bilde av hvilke holdninger som finnes rundt bruk av massivtre i bransjen.

### 9.1. Informantene

Tabell 16 gir en introduksjon av informantene og deres personlige erfaringer med prosjekter i massivtre. For å ivareta informantenes anonymitet identifiseres de kun med rolle i bransjen, kjønn og stilling.

Tabell 16. Informantene og prosjektene.

Rolle	Kjønn og stilling	Deltakelse i massivtreprosjekter
Entreprenør 1	Mann, driftsleder	Ingen prosjekter gjennomført, men vært med som et alternativ i tidlig prosjekteringsfase.
Entreprenør 2	Mann, anleggsleder	Påbygging av skole. Yttervegger og diverse bæring av massivtre.
Konsulent 1	Dame, konstruktør/prosjekteringsleder	Skole, barnehage, studentboliger og kontor.

Konsulent 2	Mann, konstruktør/faglig leder	Omsorgsboliger, studentboliger, skoler, industri, idrettsbygg og boligprosjekter.
Leverandør 1	Mann, teknisk sjef	Leilighetsbygg, enebolig, hytter, studentboliger, skoler, kirker og barnehager.
Leverandør 2	Mann, leder salg og marked	Skoler, barnehager, idrettshaller, helsebygg, omsorgssenter og sykehjem. Oppsummert, omtrent alt i tiltaksklasse 2.
Byggherre 1	Dame, prosjektutvikler	Skolebygg.
Byggherre 2	Mann, prosjektleder	Barnehage, flerbruksbygg.
Byggherre 3	Mann, senioringeniør	Skolebygg, studentboliger.

## 9.2. Motivasjon bak bruk av massivtre

Ut fra det gruppen hadde observert gjennom litteraturstudien var det ønskelig å se på hvilke interesser som må ligge til grunn for at massivtre skal bli et foretrukket og valgt materiale til bruk i bæresystem.

Tabell 17. Motivasjonen bak bruk av massivtre.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	-
Entreprenør 2	Offentlig byggherre med ambisjon om miljøprofil.
Konsulent 1	Det er gjerne en miljøfaktor: ambisjoner med tanke på miljø.
Konsulent 2	Byggherrens ønske om å bygge miljøvennlig.
Leverandør 1	Miljø og byggetid.
Leverandør 2	Fremdrift, miljø, politiske vedtak som skal fremme bruken av tre.
Byggherre 1	Kommunal satsing på tre, noe som gjorde at dette var et kriterium i prosjektet.
Byggherre 2	Miljøhensyn.
Byggherre 3	Oppfylle de tøffe miljøkravene til byggherre.

### 9.3. Vurdering ved valg av bæresystem

Gruppen var med dette spørsmålet interessert i å finne ut når i prosjektet avgjørelsen om bruk av massivtre blir tatt. Dette var også interessant for å få et innblikk i hvilke vurderinger og prosesser som måtte ligge til grunn for å kunne ta et valg.

Tabell 18. Vurdering ved valg av bæresystem.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	-
Entreprenør 2	-
Konsulent 1	Deres påvirkning i valget av bæresystem avhenger av hvor tidlig de kommer med i prosjektet. Er de med fra tidligfase kan de oppfordre til det om det er hensiktsmessig. De fleste bygg har alt i massivtre, utenom fundament og kjeller.
Konsulent 2	Inntrykket er at det er byggherre som bestemmer, men det hender de drar massivtre inn i prosjekter der det er fordeler med det. For eksempel med tanke på vekt.  Massivtre har rask byggetid, men har ikke valgt å bruke det på grunn av rask byggetid, fordi det har andre bæresystemer også.
Leverandør 1	-
Leverandør 2	-
Byggherre 1	Hvis byggherre ikke krever massivtre, vil kanskje ikke entreprenør velge det. Det har veldig mye med hva byggherren vil gjøre.  Vil som byggherre satse på tre.
Byggherre 2	Tror ikke det blir valgt dersom det ikke er satt som et krav fra byggherre.
Byggherre 3	Krever ikke massivtre, men har tøffe miljøkrav.

### 9.4. Klima og miljø

Gjennom arbeidet med teorien og forskningen i denne oppgaven, opplevde gruppen at klima og miljø var faktorer som ble belyst og diskutert mye. Dette kom også frem gjennom spørsmålene stilt i forbindelse med kapittel 9.2. Klima og miljø ble derfor et naturlig oppfølgingsspørsmål. Svarene og meningene som kom var mange, og derfor ble dette en egen kategori.

Tabell 19. Klima og miljø.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	I prosjektet ble massivtre vurdert brukt fordi byggherre ønsket å være så miljøvennlig som mulig.
Entreprenør 2	Bygging ved hjelp av massivtre gir miljøprofil. Det er resirkulerbart.
Konsulent 1	Utbygger har miljøambisjoner.
Konsulent 2	Mener hvorvidt det er miljøvennlig kan diskuteres.
Leverandør 1	Det er et fornybart råstoff. Fokus på kortreist og bærekraftig produksjon. Transporterer de fleste elementene på trailere med Euro 6 motorer, men har også transportert en del på båt.  Regner ut EPD (Environmental Product Declaration) for hvert prosjekt.
Leverandør 2	-
Byggherre 1	Brukte i hovedsak tog, men også trailere på enkelte strekninger.
Byggherre 2	Tidligere var det bare å bruke massivtre fordi det var så miljøvennlig, men hvis man bruker det i ytterkonstruksjon, som takkonstruksjon og yttervegg, så må man lekte ut og isolere i tillegg. Da går vinningen litt opp i spinningen. Man må ikke bruke massivtre bare for å bruke massivtre, da CO <sub>2</sub> -regnskapet kan bli dårligere.  Mye av massivtreet som brukes i Norge kommer fra Mellom-Europa. Dette er også med i CO <sub>2</sub> -regnskapet.
Byggherre 3	Massivtre er et gunstig miljøprodukt.

## 9.5. Økonomi og lønnsomhet

En viktig faktor for at massivtre skal bli vurdert brukt i prosjekt, er den økonomiske lønnsomhet til materialet. For gruppen var det derfor viktig å undersøke hvordan bransjen stiller seg til lønnsomheten til massivtre sammenlignet med stål og betong.

Tabell 20. Økonomi og lønnsomhet.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	I prosjektet hvor massivtre ble vurdert, ble prisen for høy og dermed forkastet.

Entreprenør 2	Stiller spørsmål ved om det bygges unødvendig dyrt. Ser for seg at jo mer man bygger med massivtre, jo mer kunnskap vil tilegnes, og jo lavere blir risikoen for entreprenørene.
Konsulent 1	Klarer ikke helt å konkurrere mot stål og betong. Jo mer man bruker massivtre og finner flere optimale løsninger, jo mer økonomisk gunstig blir det.
Konsulent 2	Tror det ikke er veldig kostnadseffektivt, og har ikke vist seg å være konkurransedyktig.
Leverandør 1	Det var i starten utfordrende fordi bæresystem med betong og andre løsninger skulle gjøres om til tre. Konkurrerer i dag greit i forhold til andre byggematerialer. Det er ikke store forskjeller.
Leverandør 2	Tror totalentreprenører med lite erfaring legger inn en høy risikomargin i sine anbud. Økt kunnskap om byggemetoden vil gjøre risikoen lavere.
Byggherre 1	Det kan hende stål og betong blir valgt ut fra økonomiske forhold, hvor det er om å gjøre å få ned prisen.  Tror ikke det er dyrere å bygge denne skolen i massivtre, kontra andre byggematerialer.
Byggherre 2	Entreprenørene vil gå for den billigste løsningen. Antar at massivtre vil være litt dyrere i 80% av tilfellene, men påpeker at prisforskjellen har blitt mindre de siste årene.
Byggherre 3	Tror det kan være god økonomi å velge massivtre i prosjekter. I anbud hvor massivtre og stål/betong har kommet likt ut på CO <sub>2</sub> , har massivtre vunnet på pris.

## 9.6. Tekniske utfordringer

Under intervjuene var det spesielt de tekniske utfordringene knyttet til lyd og brann som ble tatt opp av informantene. Gruppen har derfor valgt å samle disse utfordringene i dette kapittelet.

Tabell 21. Tekniske utfordringer.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	Massivtre oppfyller omtrent ingen brannkrav og har ingen U-verdi. Det er problematisk som følge av mangelen på preaksepterte løsninger som oppfyller brannkravene.

	Antar at ingen rådgivere vil gå god for løsninger som ikke er preaksepterte.
Entreprenør 2	Har hørt fra et annet prosjekt at det var problemer med trinnlyd og vibrasjoner i dekket.
Konsulent 1	<p>Det har tidligere vært spørsmål om hvordan man skal branntette gjennomføringer.</p> <p>Må tilføre tyngde oppå dekket for å få mindre vibrasjoner. Lyd og brann er typiske ting som gjør at man må ha mer isolasjon, gips osv. Ingen utfordring i seg selv at det er et lett materiale, men det må behandles deretter. Det kan være en fordel ved påbygg.</p>
Konsulent 2	Håndtere akustikk med massivtre er strevsomt. For å tilfredsstille lydkrav og unngå vibrasjoner på etasjeskillere, må det tilføres en del vekt. Ender ofte opp med å veie omtrent like mye som et hulldekke. Det er en del massivtrebygg som ender opp med å bli pakket inn i gips.
Leverandør 1	<p>Lyd er utfordrende. De har prøvd mange ulike løsninger som påstøp, avretting med flytsparkel og tilfarere med tung isolasjon. Det skjer en stor utvikling når det kommer til løsninger.</p> <p>Tre som byggemateriale er veldig forutsigbart ved brann. Ingenting slår massivtre når det kommer til brannspredning.</p> <p>De benytter lim som er varmebestandig og som hindrer at de ytre sjiktene faller av ved brann. Limet frigir heller ikke farlige gasser.</p>
Leverandør 2	<p>Det har vært en stor utvikling i kompetansen, spesielt med tanke på lyd og brann. Problematikken rundt lyd har blitt forsket mye på den siste tiden.</p> <p>Uten preaksepterte løsninger må det benyttes rådgivere innenfor brann, bygningsfysikk og akustikk.</p>
Byggherre 1	-
Byggherre 2	Branntetting er en utfordring på gjennomføringer, men har ellers en god brannsikring.



	Det er utfordring med akustikk. Man er avhengig av å lekte ut og gipse ut massivtreveggen for å få flere lag. Det finnes ingen preaksepterte løsninger.
Byggherre 3	Lyd er en utfordring, men man løser det ganske greit, bare man tenker litt ekstra på det. De har brukt akustikkhimling. Løser man akustikk på en god måte, er det ofte en god løsning på brann også.

## 9.7. Prosjekteringsfase

Det var ønskelig å se på hvilke erfaringer informantene hadde fra de prosjektene vedkommende hadde deltatt på. Da dette var et stort tema, valgte gruppen å dele opp og se på de ulike fasene av et byggeprosjekt. Dette gjorde det mer oversiktlig og enklere å sammenligne de erfaringene som ble presentert av informantene. Prosjekteringsfasen var den første fasen informantene ble spurt om.

Tabell 22. Prosjekteringsfase.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	Hadde dårlig erfaring med leverandør i prosjektet hvor det ble vurdert. Opplevde at kunnskapen rundt detaljløsninger var mangelfull. Leverandør kunne ikke estimere pris før bygget var ferdig prosjektert, entreprenør ønsket ikke prosjektere før prisen var fastsatt.  Ved bruk av massivtre får man ett element til på RIB-siden, noe som kompliserer prosjekteringsarbeidet.
Entreprenør 2	Opplevde mangelfull prosjektering rundt hulltaking i teknisk rom. Bortsett fra dette var det et enkelt bygg, og prosjekteringsfasen gikk greit.
Konsulent 1	Økonomisk press gjør at man starter tidligere og tidligere på byggeplass, noe som lar seg gjøre ved bygging av betongbygg hvor man kan prosjektere parallelt med byggingen. Med massivtre må hele prosjekteringsfasen være ferdig før man begynner å jobbe. Detaljprosjekteringen er ikke nødvendigvis lenger. Den største utfordringen er å lære opp entreprenører som ikke er vant til massivtre, til å sette av nok tid til prosjektering i begynnelsen. Dette er for at alle fag skal rekke å bli ferdige. Ved mangelfull prosjektering mister man tid i byggefasen.

	<p>Prosjektering og koordinering fagene imellom er lik både ved massivtre og betong.</p> <p>Tror at de fleste ingeniører ville sagt det er en fordel i alle prosjekter at de fikk prosjektere ferdig først. Man merker dårlig koordinering først på byggeplass.</p>
Konsulent 2	<p>Mener prosjekteringsfasen må strammes opp fordi elementer skal i produksjon.</p> <p>Det trengs en mer strukturert prosjekteringsfase, med tverrfaglig koordinering for gjennomføringer.</p>
Leverandør 1	<p>Tror utfordringene med prosjekteringsfasen henger sammen med at det er et nytt byggemateriale som ikke veldig mange har erfaring med. For de som begynner å få erfaring, går det veldig greit. Det er enkle ting å beregne, for sammenlignet med hulldekker har massivtre full styrke begge veier. I begynnelsen var det mange ting man var usikre på, men mange begynner å bli drevne på å prosjektere bygg i massivtre.</p>
Leverandør 2	<p>Mener prosjekteringsfasen kan være litt mer krevende, spesielt med tanke på at modell og prosjektering av tekniske fag må skje tidligere i prosessen. Trenger ca. tre måneder fra ferdig modell til start på byggeplass.</p> <p>I prosjekteringsfasen har man nå også fått tre inn i energiberegningen.</p> <p>Det har blitt gjort praktiske tester på byggeplass, noe som har bidratt til å finne ulike løsninger som fungerer.</p> <p>Veldig mange firmaer begynner å bli flinke på å prosjektere i massivtre.</p>
Byggherre 1	<p>Prosjekteringsfasen ble hektisk frem mot produksjonen av elementene.</p> <p>Det var stort fokus på det tekniske i prosjekteringsfasen. Det er viktig å planlegge prosjekteringsfasen godt og være klar</p>

	<p>over at det krever stor nøyaktighet, blant annet med hulltaking til ventilasjon.</p> <p>Entreprenøren hadde mye erfaring med massivtre.</p>
Byggherre 2	<p>Synes prosjekteringsfasen kan være litt vanskelig. Må stadig vekk ha kompenserende tiltak, eller bevise at det er godt nok, spesielt i forbindelse med branntetting. Dette krever mer av prosjekterende. Håper og tror at det snart kommer preaksepterte løsninger.</p> <p>Opplevde at entreprenøren hadde god kompetanse om bygging i massivtre.</p>
Byggherre 3	<p>Tror prosjekteringstiden kan være noe mer utfordrende, men dette går bra når man har litt erfaring. Tror prosjekteringstiden kan være lenger, da massivtre ikke er like modent som andre materialer. Ved bruk av stål og hulldekke har man kjente beregningsprogrammer og leverandører som har jobbet mye med dette. Tror det bare er et spørsmål om tid før massivtre kommer opp på dette nivået.</p>

## 9.8. Byggefase

I byggefasen opplevde gruppen at flere av informantene ikke hadde egne erfaringer fra selve byggeplassen, men hadde gjennom kollegaer og samarbeidspartnere dannet seg et inntrykk av byggefasen. Dette var med på å gi et bilde av hvilke holdninger som eksisterer i bransjen.

Tabell 23. Byggefase.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	<p>Bruk av massivtre gir kanskje bedre trivsel.</p> <p>På leverandørsiden var det store problemer med fukt, med elementer som heises på kran når det regner. Kan benytte tak-over-tak, men dette er veldig kostnadsdrivende.</p>
Entreprenør 2	<p>Var i dette prosjektet heldig med montasjen. Fint vær gjorde at man fikk lite problemer med fukt og hadde raskt tett bygg.</p> <p>Det var godt samarbeid mellom fagene. Godt og trivelig å jobbe inne i bygget.</p>

	<p>Markerte ferdige overflater for å synliggjøre områder man måtte behandle ekstra forsiktig.</p>
Konsulent 1	<p>Hvis prosjekteringen er gjort riktig, sparer man tid på montasjen. Dette går mye raskere enn å plassbygge betong. Hvis de tekniske fagene ikke har hengt med, eller ikke blitt ferdig, oppleves det at veldig mange utsparinger må tas på byggeplass. Disse må også kontrolleres av RIB, noe som kan gi forsinkelser.</p> <p>Opplever at de som jobber med massivtre synes det er et bedre materiale å jobbe med. Det gir en støvfri byggeplass, mindre støy, mer ryddig arbeidsplass og mer fornøyde arbeidere.</p> <p>HMS ikke noen større utfordring enn når det bygges med andre materialer.</p> <p>Har ikke hatt problemer med fukt. De prosjekterer ikke løsninger som de mener vil gi problemer. For eksempel lar de ikke kunder få synlig massivtre på begge sider. Det er til syvende og sist entreprenøren som er ansvarlig for å fuktsikre bygget.</p>
Konsulent 2	<p>Dersom prosjekteringsfasen har vært god, blir byggefasen enkel, som legobygging.</p> <p>Antar at det er mindre feil. Enkelt å tilpasse på byggeplass dersom det oppstår små konflikter. Man kan for eksempel sage eller høvle bort litt.</p>
Leverandør 1	<p>Det går veldig fort og enkelt. Det er lette produkter, så du trenger ikke kjempestore kraner.</p> <p>Det ble tidligere benyttet mye tak-over-tak. Dette er veldig positivt for arbeidsmiljøet og fuktsikring under montasjen. Har etter hvert gått mer bort fra tak-over-tak, noe som sparer kostnader, men kan gi fuktutfordringer.</p> <p>Det blir gjennomført kontrollmåling av fukt før bygget lukkes.</p>
Leverandør 2	<p>Det er bedre miljø på byggeplassen, både med tanke på luft, forurensning og lyder. Det er generelt en bedre byggeplass.</p>

	<p>Har gode erfaringer så lenge ting er godt prosjektert.</p> <p>Tak-over-tak er en dyr løsning som de ikke bruker. Det går sakte og er ikke rasjonelt.</p> <p>Trenger generelt lite utstyr.</p> <p>Viktig å kontrollere fukt før man kler inn massivtreet.</p> <p>Har inntrykk av at mange som har jobbet med massivtre liker dette, blant annet fordi det er spikerslag overalt og det meste av utsparinger er allerede gjort.</p>
Byggherre 1	<p>Den største utfordringen var fukt. Det ble veldig vått under bygging. Etter dette ble det satt opp tak-over-tak. Ble overrasket over hvor fort det tørket opp. Vil anbefale å bruke penger på tak-over-tak. Fukt trekker opp og misfarger treet nederst.</p> <p>Synes det har vært mye gøyere å jobbe med massivtre i byggefasen, fordi man ser forttere hvordan rom blir. Det er en helt annen stemning på byggeplassen. Treet gir en god materialfølelse og atmosfære.</p>
Byggherre 2	<p>Opplever at arbeidsmiljøet er bedre. De som arbeider på byggeplassen har det triveligere, og humøret er bedre. Dette merkes av byggherre under befaringer på byggeplassen. Inneklima er bedre, og tror at sykefraværet går ned. Lukten i et massivtrebygg er en helt annen enn i bygg av stål og betong.</p> <p>Massivtre tåler ikke så godt fukt, vann og søle. Det blir fort merker og skjolder. Det funker å bruke tak-over-tak, men dette fører meg seg en ekstra kostnad.</p>
Byggherre 3	<p>Det er et materiale med ferdig overflate og som krever at du behandler det pent under bygging.</p> <p>Tror det er trivsel å bygge med tre. Det er et gøyere produkt å jobbe med.</p>

	<p>Diskuterte muligheten for å benytte tak-over-tak, men entreprenøren valgte å ikke benytte dette. Mye nedbør i byggeperioden førte til skjolder og flekker på massivtreet. Dette var ikke kritisk med tanke på sopp og mugg, men måtte pusses bort. Bør vurdere tak-over-tak avhengig av årstid og geografi.</p> <p>Byggetiden er der man kan hente mest, da man slipper å bruke tid på tørking etter betongstøping og maling. Ved bruk av massivtre kommer en ferdig vegg med en gang.</p>
--	---

## 9.9. Drifts- og bruksfase

For gruppen var det et poeng å også se på hvilke erfaringer man har etter at bygget er ferdig og klart til å tas i bruk. Dette er et viktig punkt som må tas med i betraktning når bruken av materialet skal vurderes.

Tabell 24. Drifts- og bruksfase.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	<p>Massivtre har utfordringer med ekspansjon og krymp etter bygging. Dette kan medføre problemer i heissjakter hvor heisen kan stoppe dersom dette ikke er tatt høyde for.</p> <p>Skjultanlegg er løsbart under bygging, men vanskelig å endre etter bygging. Massivtre gir mindre fleksibilitet etter bygging.</p> <p>Antar at det er bedre inneklime.</p>
Entreprenør 2	<p>Fokuserte på å merke og forsiktig behandle flater som ikke skulle kles inn.</p> <p>Trematerialet lever og sprekker opp, men tror at drift, vedlikehold og behandling i ettertid er kurant.</p>
Konsulent 1	<p>Det har vært problemer med heissjakter, men dette er nå løst. Heisleverandøren var ikke vant til massivtre, men klarer i dag å tilpasse seg materialet.</p> <p>Sjeldent misfornøyde kunder. Brukere kommer tilbake og er kjempefornøyd med byggene i massivtre. De føler at det er en bedre atmosfære og renere luft.</p>

Konsulent 2	<p>Kan oppleve problemer med fukt og råte, da massivtre er veldig utsatt for den type ting. Dette kan være farlig. Det kan oppstå problemer med skadedyr, men dette kan håndteres med noen stoffer.</p> <p>Tror massivtre gir et ålreit inneklime. Folk som bor der synes det er et trivelig miljø.</p> <p>Det er mange bærende vegger, noe som gjør det vanskelig å ombygge i etterkant.</p>
Leverandør 1	<p>Det kan oppstå misfarging av synlige overflater ved fuktproblemer. Dette er en utfordring det stadig jobbes med å løse.</p> <p>Erfarer at energiforbruket blir mindre enn forventet.</p> <p>Beboerne opplever at det er et behagelig innemiljø på grunn av treets hygroskopiske egenskaper.</p> <p>Har fått positive tilbakemelding på heissjaktene.</p> <p>Heismontørene liker heissjakter i massivtre hvor de kan skru og feste ting akkurat der det passer dem. Har tidligere hørt om utfordringer i heissjakter, hvor samvirke mellom stål og tre bød på utfordringer. Dette har vært på grunn av krymp og utvidelse, men har selv ikke hatt noen problemer med heissjakter.</p>
Leverandør 2	<p>Man må ta høyde for krymp som kan forårsake sprekker i treverket. Denne faren kan reduseres ved å bruke tynnere lameller i ytterste sjikt.</p> <p>Har hatt få negative tilbakemeldinger fra brukerne. Var tidligere litt med tanke på lyd.</p>
Byggherre 1	<p>Opplevde at synlige overflater fikk litt røff behandling under bygging. Dette har blitt utbedret i ettertid. Massivtre er solid og tåler mye mer enn andre bygg. Det lukter nytt i mange år. Det er heller ingen tagging utvendig på trebygg.</p> <p>Undersøkelser har vist få fuktproblemer på andre massivtrebygg. Det kan imidlertid oppstå skjolder og flekker</p>

	som følge av fukt. Dette kan stort sett pusses bort, med noen unntak.
Byggherre 2	<p>Har fått tilbakemeldinger om krymping. Sett i ettertid er dette noe byggherre kunne informert kunde bedre om, fordi det er ikke mer enn forventet.</p> <p>Oppløpde en bråstopp i heisen. Dette skyldes krymp i heissjakten. De måtte etterstramme og justere heisskinner. Har senere ikke vært et problem.</p> <p>Oppløper at håndverkere og entreprenører har fått mer erfaring med materialet de siste årene.</p>
Byggherre 3	<p>Fikk noen oppsprekninger i ettertid. Vurderte fukting om vinteren for å motvirke tørt inneklimate og oppsprekking. Valgte å ikke gjennomføre dette da oppsprekkingen kun hadde estetiske konsekvenser.</p> <p>Fornøyde brukere av bygget. Vaktmester sier det egentlig er et bra bygg. Det er et robust materiale som er solid.</p>

## 9.10. Oppløvd kunnskap og holdninger

Oppløvd kunnskap og holdning var et av hovedspørsmålene gruppen hadde i forkant av intervjuene. Hvilke kunnskaper og holdninger som finnes i bransjen er avgjørende for bruken og framtidssiktene til materialet.

Tabell 25. Oppløvd kunnskap og holdning i bransjen.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	<p>Oppløper kunnskapen og holdningene som delt. Utad veldig positiv, men internt på kontoret er det litt mer blandet.</p> <p>Mener kompetansen har økt i alle ledd, både fabrikk, rådgiver og montasje. Det har også kommet flere lokale produsenter av massivtre, både i Norge og Sverige. Det er fortsatt noe å gå på når det kommer til kunnskapen hos entreprenørene.</p> <p>I enkelte prosjekter har man kanskje for tidlig bestemt seg for at man skal bruke massivtre, og bruker det på steder det ikke nødvendigvis er hensiktsmessig. Tror imidlertid at massivtre vil finne sin nisje ved hjelp av prøving og feiling.</p>



Entreprenør 2	<p>Var selv forutinntatt og negativ til massivtre, men ble frelst etter å selv ha deltatt på prosjektet.</p> <p>Tror holdningene blir bedre og bedre i bransjen når massivtre ikke lenger er nytt og skummelt.</p>
Konsulent 1	<p>Kunnskapene var omtrent ikke-eksisterende for fem år siden, men det har skjedd veldig mye siden da. Har i dag mange flere prosjekter.</p> <p>Tror de fleste store entreprenørene i dag kjenner massivtre og mulige løsninger godt.</p>
Konsulent 2	<p>Kunnskapen er nok litt varierende. Har utviklet seg de siste seks årene til å bli et mer kjent produkt.</p> <p>Har opplevd byggherrer som vil at alt skal bygges i massivtre, noe som ikke alltid er hensiktsmessig, for eksempel ved lange spennvidder.</p>
Leverandør 1	<p>Mener kunnskapen har utviklet seg mye. Nå er det bestemt at det skal bygges i massivtre tidlig i prosessen, noe som gjør at resultatet og økonomien blir bedre.</p> <p>Det er for lite kunnskap hos brannkonsulenter, men dette er noe som har begynt å bli bedre.</p> <p>Tror Norge ligger 15 år bak Østerrike og Tyskland når det gjelder kunnskap om massivtre.</p>
Leverandør 2	<p>Det har skjedd en utvikling innenfor beregningsprogrammer og festemidler.</p> <p>Mener mangel på preaksepterte løsninger har skapt usikkerhet blant entreprenørene.</p>
Byggherre 1	<p>Tror at de som har opplevd eller vært gjennom et prosjekt bygd med massivtre, vil være positivt innstilt. De som ikke har erfart det vil være mer skeptiske.</p> <p>Var selv mest redd for at det skulle gjøres feil i prosjekteringsfasen. Også problematikken rundt fukt, skjolder og flekker var noe som ble lagt merke til på befaringer ved andre prosjekter før prosjektstart.</p>

Byggherre 2	<p>Kjøpte tidligere inn arbeidsleder fra leverandøren. Ser at større entreprenører har tilegnet seg mer montasjekunnskap, noe som gjør behovet for en arbeidsleder fra leverandør unødvendig.</p> <p>Ser på anbudsrundene at de ulike entreprenørene priser veldig forskjellig, noe som tyder på at de har ulike erfaringer og kunnskap. Vil tro at innkjøpsprisen er lik, noe som må bety at det er kunnskapen eller risikoen som sørger for prisforskjellen i anbudene.</p>
Byggherre 3	<p>Har opplevd at det er mangel på kunnskaper hos RIB. Var vant til å bygge i stål og betong. Tror det blir bedre når man har fått jobbet mer med det, og det har skjedd mye med kunnskapen de siste årene.</p>

## 9.11. Myndighetspåvirkning

Det ble i intervjuene påpekt at de fleste prosjektene i massivtre finnes i den offentlige sektoren. Det ble derfor interessant å se på hvordan informantene synes myndighetene har påvirket til deres bruk av massivtre. Det ble også fulgt opp og spurt om dette var avgjørende for bruken av massivtre.

Tabell 26. Myndighetspåvirkning.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	Mener myndighetene allerede har gjort mye. Det har kommet politiske vedtak som sier at kommunene skal bygge mer i massivtre.
Entreprenør 2	Synes det offentlige er flinke til å bruke massivtre. I det offentlige er det fokus på miljø. Myndighetene kan stille krav til bruk av massivtre dersom de ønsker det.
Konsulent 1	Det er offentlig initiativ som skal til for at det skal bli massivtrebygg.
Konsulent 2	Oppfatter at det er en politisk beslutning at det skal bygges mer miljøvennlig.
Leverandør 1	-
Leverandør 2	<p>Det blir fremmet politiske krav om mer bruk av tre. Når det kommer slike krav om å bygge mer i tre, vil også kompetansen øke.</p> <p>Det er miljøaspektet som driver det offentlige.</p>

Byggherre 1	Politikerne kan velge om de vil satse på tre eller ikke. Det følger også med et miljø- og bærekraftperspektiv. Hvis det dokumenteres at massivtre er mer miljøvennlig og bærekraftig, vil politikerne satse på det.
Byggherre 2	-
Byggherre 3	-

## 9.12. Økt bruk av massivtre

Mot slutten av intervjuene ble det spurt hvilke personlige meninger informantene hadde rundt økt bruk av massivtre. De skulle også peke på hva som må til for at bruken av massivtre skal øke.

Tabell 27. Økt bruk av massivtre.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	For å øke bruken av massivtre må det bli mer lønnsomt. Mener at et av tiltakene for å få til dette er å montere vegger som er ferdig behandlet på en side ved montasje. Det må også komme preaksepterte løsninger. For å unngå at folk blir lei, er variasjon i overflate også noe som kan bidra til økt bruk.  Om hele verden skal ha massivtre, kan trevirke bli et knapphetsgode.
Entreprenør 2	Tror rike kommuner som benytter massivtre kan ha en smitteeffekt til andre kommuner.
Konsulent 1	Man bør unngå å bruke massivtre der det er lite hensiktsmessig, for eksempel ved lange spenn eller der bygg er utsatt for jordtrykk.  Tror at når lønnsomheten øker, vil de private aktørene komme mer på banen.
Konsulent 2	Hvis det er en oppfatning i markedet om at kjøperen vil ha bærekraft, så vil flere private utbyggere vurdere dette.
Leverandør 1	Markedsføring av gode resultater. Videre fokus på miljø. Det er mindre kraftkrevende å produsere tre sammenlignet med stål og betong. Dette til sammen tror han vil være en medvirkende årsak til økt bruk av massivtre i fremtiden.

	Har tidligere levert massivtre med andre tresorter som yttersjikt. Problemene er råvaretilgangen og sortering i henhold til bøye- og strekkfasthet.
Leverandør 2	Opplever at utviklingen går i riktig retning.  Mange totalentreprenører har prøvd massivtre, og tipper de fleste har god erfaring med det.
Byggherre 1	Byggherre må kreve det. En entreprenør vil velge den billigste metoden, hvis ikke byggherre stiller krav.
Byggherre 2	Stille miljøkrav i form av CO <sub>2</sub> -ekvivalenter eller sette direkte krav om bruk av massivtre i utlysningen.  Tror at de mindre tømrer- og byggmesterfirmaene vil begynne å bruke mer massivtre dersom det kommer på plass preaksepterte løsninger.
Byggherre 3	Det offentlige kan komme med krav om bruk av massivtre, men mener det må bli konkurransedyktig. Da må kompetansen hos rådgiverne heves, slik at prosjekteringstiden reduseres. Massivtre må benyttes der det er hensiktsmessig for å være konkurransedyktig.  Trenger stabil produksjon av massivtre i Norge.  Lettere for offentlige byggherrer å forsvare ekstra pengebruk på massivtre, men tror det private kommer mer og mer etter.

### 9.13. Trend

I det første intervjuet ble det diskutert om massivtre kunne være en trend. Dette var et spørsmål gruppen tok med seg videre til de resterende intervjuene for å høre hvilke meninger som fantes om dette.

Tabell 28. Trend.

Rolle	Svar
Entreprenør 1	Mener at massivtre er en trend som vil gå over, på samme måte som furupanel.
Entreprenør 2	Tror det er kommet for å bli, fordi miljøfokus akselererer.
Konsulent 1	Tror massivtre er noe som er kommet for å bli. Tror dette er en trend på samme måte som miljø, og tror ikke miljø er en trend.

Konsulent 2	Tror det er en trend, hvor datagrunnlaget vil avgjøre om det brukes mer i fremtiden.
Leverandør 1	<p>Tror ikke det er en trend som blusser opp og forsvinner igjen. Det er et byggemateriale som har eksplodert i hele verden. Ser at det bygges massivtrefabrikker i hele verden.</p> <p>Slik det er i dag er det manko på trevarer globalt. Tror ikke dette stopper utviklingen i bruk av massivtre, men tørr ikke spå noe om det.</p>
Leverandør 2	Det ble sagt for en del år siden at massivtre var en trend, men tror den tanken er borte nå. Ser en politisk forankring i bruken av tre, og miljøaspektet. Tror ikke det er en trend, men noe som er kommet for å bli en stund.
Byggherre 1	Tror og håper det er en trend som vil sette seg mer fast. Håper også det kommer noen gode norske produsenter og leverandører. Det gjelder å få nok trelast. Vet at prisen har gått opp i det siste.
Byggherre 2	Usikker på om det er en trend, men tror miljøhensynet bidrar til økt bruk.
Byggherre 3	<p>Tror ikke at det er en trend, men noe som vil øke på litt fordi man blir bedre på det. Det er nok ikke bare for miljøhensyn, for tror at de som velger det, også oppnår lønnsomhet.</p> <p>Tror massivtre kommer til å fortsette å være i bransjen fordi miljøfokus kommer til å øke. Når bransjen blir mer trent på massivtre, blir det enda mer gunstig og man får da mer av det.</p>

## 10. Diskusjon

I denne delen av oppgaven ønsker gruppen å drøfte de resultatene som kom av intervjurunden, sett i lys av teorien og forskningen som er blitt redegjort for tidligere i oppgaven. For å holde diskusjonen oversiktlig har gruppen valgt å dele opp diskusjonen, tilsvarende kapittel 9. Til slutt vil det komme en vurdering av resultatene. Her diskuterer gruppen hvordan innhenting av informasjon har foregått og hvordan dette kunne blitt gjort annerledes.

### 10.1. Vurdering ved valg av bæresystem

Både Konsulent 1 og Konsulent 2 sier at de kan anbefale massivtre hvor dette er hensiktsmessig. For å ha en innvirkning på valg av bæresystem sier Konsulent 1 at de må ha vært tidlig inkludert i prosessen. Konsulent 2, Byggherre 1 og Byggherre 2 har inntrykk av at entreprenørene i en totalentreprise ikke vil velge å bruke massivtre dersom det ikke er byggherre som har valgt det. Byggherre 2 begrunner dette med at entreprenørene vil velge det billigste alternativet. Vedkommende sier også at de vil satse mer på bruk av tre. Byggherre 3 peker på at de som byggherre ikke krever bruk av massivtre, men har tøffe miljøkrav som må oppfylles. Det blir også sagt at valget om bruk av massivtre i enkelte tilfeller kan bli gjort på grunn av den korte byggetiden. Angående kort byggetid er Konsulent 2 enig i at massivtre har rask byggetid, men mener at også andre bæresystemer har dette. Valget om bruk av massivtre blir derfor ikke gjort kun på bakgrunn av dette.

### 10.2. Klima og miljø

I Kremer og Symmons (2018) sin studie peker to arkitekter på at bærekraften i et prosjekt blir bedre med massivtre. Som redegjort for i teorien, trekker både Lotherington (2015), TreFokus (2013), Halseth (2019), Tekna (2019) og Lier og Aasheim (2020) frem at massivtre gir et redusert klimaavtrykk, og at dette ofte blir sett på som et fortrinn ovenfor stål og betong. Dette stemmer overens med Calkins (2009) som skriver at sementproduksjonen årlig utgjør 5% av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp. Tre på sin side er, ifølge TreFokus *Tre og Miljø* (2004), et fornybart byggemateriale. Det kan absorbere, og til og med fjerne CO<sub>2</sub> fra atmosfæren, forutsatt at tilveksten av skog er positiv. Informantene peker alle på at motivasjonen til å bruke massivtre som byggemateriale er det gunstige miljøaspektet, bortsett fra Konsulent 2 som er litt mer tilbakeholden og uttrykker at hvorvidt massivtre faktisk er miljøvennlig er noe usikkert. Ut fra studien til Liang *et. al* (2020) utgjør store mengder gips en betydelig forskjell på klimagassutslippet. Likevel viste

det seg at massivtreet presterte bedre enn betong på klimagassutslipp når dette ble sett over hele levetiden.

Et av punktene som kommer opp, og som er med på å trekke graden av miljøvennlighet til massivtre ned, er transporten. Byggherre 2 sier at mye av massivtreet som blir brukt i Norge i dag, transporteres fra Mellom-Europa. Dette kommer også frem av markedsanalysen Lier og Aasheim publiserte i 2020 . Her ser man at 4% av massivtreforbruket i 2018 ble produsert i Norge. Dette endret seg i 2019, da Splitkon etablerte en ny massivtrefabrikk. Andelen økte da til 20%. Hvordan massivtre-elementene blir fraktet er en viktig faktor som må medregnes i CO<sub>2</sub>-regnskapet. Byggherre 1 sier de transporterer det meste med tog, med unntak av noen strekninger. Leverandør 1 sier at de transporterer det meste på trailere med Euro 6 motorer, men har også transportert litt med båt.

Rapporten utarbeidet av Østfoldforskning fra 2019 viser hvilken betydning transport har i CO<sub>2</sub>-regnskapet (Rønning *et al.*, 2019). I rapporten vises det at massivtre kommer best ut i bygg med færre etasjer, sammenlignet med hulldekker. I bygg med 16 etasjer er miljøbelastningen tilnærmet lik. Fra åtte etasjer og oppover, vil lavkarbonbetong utkonkurrere massivtre, dersom transporten av materialer er lang. Slik det ble sett på i kapittel 2.4, er lavkarbonbetong et av tiltakene gjort i betongindustrien for å bedre miljøutfordringene knyttet til utvinningen av sement. Rapporten viser at transport av massivtre-elementene er viktig å ta med i beregningen når miljøgevinsten skal beregnes. Angående rapporten til Østfoldforskning , er det verdt å nevne at denne ble delvis finansiert av betongindustrien, noe som kan ha hatt en innvirkning på resultatene.

I en sammenlikning av tre leilighetsbygg gjort av Eliassen (2019), kommer det frem at massivtre har lavest klimagassutslipp sett gjennom hele livssyklusen. Her ble riktignok ikke rivningen tatt med i beregningene. I intervjuene blir det av Leverandør 1 pekt på at massivtre er et fornybart råstoff. Det blir også sagt av Entreprenør 2 at det er resirkulerbart, slik det skrives om i *TreFokus Tre og Miljø* (2004). Her blir det i tillegg skrevet at tre er lett å gjenbruke, og at avfallsbrenning skjer uten uheldige utslipp, selv med lim. Dette underbygges også av Leverandør 1 som sier at limet de benytter i sine elementer ikke slipper ut noen farlige gasser ved en eventuell brann.

### 10.3. Økonomi og lønnsomhet

I intervjuet med Byggherre 2 blir det sagt at entreprenørene i en anbudskonkurranse vil gå for den billigste løsningen, dersom det ikke er gitt noen krav fra byggherre sin side. Byggherre 1 støtter opp under dette ved å si at stål og betong i enkelte prosjekter kan bli valgt fremfor massivtre for å få ned prisen, men tror ikke prosjektet vedkommende var med på, ble dyrere fordi de brukte massivtre. Byggherre 3 mener på sin side at det kan

være god økonomi i bruk av massivtre, og har selv sett at dette har kommet ut best på pris i anbud. Dette støttes av Leverandør 1. Det ble i intervjuet fortalt at det i starten kunne være utfordrende å få økonomisk gevinst ved bruk av massivtre, fordi allerede foreliggende løsninger i stål og betong skulle overføres til massivtre. Dette gjorde det vanskelig å finne optimale løsninger for massivtre. I dag mener Leverandør 1 at de konkurrerer greit i forhold til andre byggematerialer, noe som samsvarer med det Byggherre 3 har erfart. I forhold til resultatene fra Halseth (2019) sin studie samsvarer dette noe dårlig. Her kom det frem at underentreprenørene ikke hadde noen økonomisk gevinst ved å bygge i massivtre. For dem var det dyrere å gjøre de nødvendige tiltakene for å oppfylle brannkravene i massivtrebygg, blant annet ved bruk av mye gips.

En forsikringsagent fra Kremer og Symmons (2018) sin studie, peker på at forsikringskostnadene ved bygging i massivtre er høyere, delvis på grunn av den økte faren for brann i massivtrebygg kontra bygg bestående av betong eller teglstein. Dette fører til en fordyrende prosess ved bygging av massivtre. Forsikringsagenten tror det vil ta flere år før man får en redusert forsikringskostnad.

Begge entreprenørene som ble intervjuet i denne oppgaven stiller spørsmålsteget rundt prisen til massivtre som materiale. Samtidig mener Entreprenør 2 at økt kunnskap kan bidra til at risikokostnaden som er medregnet i anbudene blir lavere. Dette blir også pekt på av Leverandør 2 som opplever at entreprenører med lite kunnskap om massivtre legger på en høy risikokostnad i sine anbud. Dette gjør at massivtre kommer dårligere ut i anbudskonkurransene. En arkitekt fra studien til Kremer og Symmons (2018) støtter opp under at kostnadene ved bygging i massivtre er et problemområde, men mener at dette er noe som kan løses. Arkitekten mener en økt strømlinjeforming i produksjonen kan være med på å redusere kostnadene. Dette blir også kommentert i Halseth (2019) sin konklusjon, hvor det blir pekt på at effektiviserende tiltak vil gjøre det mulig å bedre lønnsomheten i prosjektene. Veidekke sier i Halseth sin studie, at noen av de økte kostnadene kommer av at dette var et pilotprosjekt. Det ble i studien konkludert med at det ikke var økonomisk gunstig å bygge i massivtre da den totale kostnaden var 10% høyere, kontra å bygge i stål og plasstøpt betong.

Studiene til Smith *et al.* (2016) og Dunn (2015) viser på den annen side at den økonomiske gevinsten var på henholdsvis 4,2% og 2,2% ved bygging i massivtre. I studien til Smith *et al.* (2016) var dette den gjennomsnittlige innsparingen av syv ulike massivtreprosjekter, mens det i Dunn (2015) sin studie var innsparingen på et åtte-etasje leilighetskompleks. I intervjuet trekker Konsulent 1 frem at man med mer kunnskap vil kunne finne flere optimale løsninger, noe som på sikt kan gjøre det mer gunstig å bygge med massivtre. Byggherre 2 sier i tillegg at prisforskjellen mellom bygg i massivtre og stål og betong har blitt mindre med årene.



## 10.4. Tekniske utfordringer

I intervjuene er det særlig to utfordringer rundt tekniske løsninger ved bruk av massivtre som går igjen. Dette er problemer knyttet til brann- og lydkrav. Entreprenør 1 mener massivtre er svært dårlig til å oppfylle gjeldende brannkrav. Dette viser seg å samsvare dårlig med resultatene funnet i forsøket til Fragiaco *et al.* (2013) hvor det i en fullskallatest ble vist at massivtre hadde en svært god brannmotstand. Dette ble testet på massivtre-elementer både med og uten branngips, og brannmotstanden ble på henholdsvis 110 og 99 minutter før elementene gikk til brudd. Det blir også kommentert av Leverandør 1 at massivtre er det byggematerialet som er mest forutsigbart ved en brann, slik Sandaker, Sandvik og Vik (2017) også skriver. Man har gjennom forskning og testing fått gode data på innbrenningshastighet og bæreevnen til massivtre under en brann, slik som forsøkene til Fragiaco *et al.* (2013) og Hox (2015) viser.

Entreprenør 1 trekker frem at mangel på preaksepterte løsninger for massivtre skaper utfordringer for mange aktører. Dette trekkes også frem av Leverandør 2, som legger til at mangelen på preaksepterte løsninger fører til økt bruk av rådgivere innenfor brann, bygningsfysikk og akustikk. Dette viste seg å være nødvendig i prosjektet som Halseth (2019) skriver om i sin Masteroppgave. Her måtte entreprenøren benytte seg av brann- og lydrådgivere i flere omganger for å sikre at de gjeldende kravene ble oppfylt. Konsulent 1 og Byggherre 2 trekker også frem utfordringene rundt brannkrav, men legger vekt på at det i stor grad er branntetting rundt gjennomføringer som skaper de største utfordringene. Det blir sagt at massivtre ellers har en god brannmotstand. Det var også i Halseth (2019) sin studie, særlig branntettingen som skapte usikkerhet for flere av fagene i prosjektet. De måtte gå flere runder med branntetting for å klare å oppfylle brannkravene. Dette samsvarer godt med erfaringene fra Kremer og Symmons (2018) sin studie. Leverandøren som ble intervjuet i denne studien peker nettopp på dette med brannsikring, noe som også blir tatt opp av bransjefolkene i studien. Likevel er det en optimisme blant informantene i denne studien, som tror dette er problemer man med tiden vil klare å finne gode løsninger på.

En annen faktor som blir dratt frem i en av samtalene rundt brann, er bruken av lim. Leverandør 1 legger vekt på at valg av lim er viktig for å motvirke at sjikt faller av ved brann, kalt delaminering. Det må benyttes et varmebestandig lim, som ikke frigir farlige gasser ved en eventuell brann. McGregor (2013) viser i sin studie at PUR-lim er lite motstandsdyktig i brann, mens MF- og PRF-lim er å foretrekke for å unngå fenomenet Brandon og Östman (2016) i sin studie omtaler som *second flash-over*. Dette underbygges av Forest Products Library (Miyamoto *et al.*, 2021) som også sier at MF- og PRF-lim fører til minst risiko for delaminering.

Lydproblematikken ved bruk av massivtre, som beskrevet i kapittel 2.6.4., er et annet punkt som blir trukket frem av flere informanter. Entreprenør 2 har hørt fra andre

prosjekter at lyd har vært et av de større problemområdene. Dette støttes også av Konsulent 2 som mener det er strevsomt å oppfylle de gjeldende kravene til lyd når man benytter massivtre. En mulig løsning på dette er å tilføre ekstra vekt, særlig når det kommer til etasjeskillere. Konsulent 1 sier at dette for eksempel kan være i form av isolasjon, gips eller påstøp. I Hagberg (2018) sin studie er det også den lave egenvekten som blir pekt på som utfordrende. Trinnlyden som oppstår gjennom vibrasjoner i den lette etasjeskilleren kan skape problemer for tilfredsstillelse av lydkravene. Leverandør 1 forteller i intervjuet at de gjennom flere år med testing har funnet tekniske løsninger som er optimale for å løse disse problemene. Også Leverandør 2 sier at det i dag blir gjort mye forskning på dette området, for å finne flere gode løsninger som oppfyller de gjeldende kravene. Dette har Byggherre 2 og Byggherre 3 også fått erfare gjennom sine prosjekter. De opplever at det har vært, og er, et problemområde man i dag har bedre kjennskap til, og kunnskaper om hvordan det skal håndteres. Noen av løsningene som trekkes frem som brukt i disse prosjektene er gips og akustikkhimling.

Bruk av gips var som nevnt en løsning som ble brukt i prosjektet som Halseth (2019) observerte. Her ble det derimot pekt på at dette var en svakhet ved prosjektet, blant annet fordi gips krever mange tunge løft under montasjen. Behandlingen, og de tunge løftene i forbindelse med gipsarbeidet, var det punktet hvor massivtrebygget kom dårlig ut, i forhold til bygget bestående av stål og plasstøpt betong. Dette var når HMS og trivsel skulle måles i prosjektet.

## 10.5. Prosjekteringsfase

Både Konsulent 1 og Konsulent 2 mener det må skje endringer i prosjekteringsfasen. Det blir fortalt i intervjuene med konsulentene at dagens byggemetode er preget av en overlapping mellom prosjekterings- og byggefasen. Dette fungerer dårlig for massivtre da det er avgjørende å ha fullført all prosjektering før byggestart, da elementproduksjonen krever tid. Konsulent 1 tror de fleste ingeniører i byggebransjen vil se på det som en fordel å ha alt ferdig prosjektert før man begynner å bygge. Dette er noe en av produsentene i studien til Kremer og Symmons (2018) også påpeker. Denne produsenten mente at byggeprosessen slik den er i dag må endres for å kunne utnytte fordelene med prefabrikasjon fullt ut. Leverandør 2 informerer om at det er nødvendig med 3 måneder produksjonstid for massivtre-elementene. All prosjektering må dermed være ferdig 3 måneder før byggestart, noe som var overraskende for underentreprenørene i Halseth (2019) sin studie. Her var ikke forutsetningene avklart på forhånd, noe som førte til at flere feil og mangler fra prosjekteringsfasen ble oppdaget i byggefasen. Man opplevde at prosjekteringsfasen gikk inn i byggefasen, noe som var uheldig for fremdriften. Likevel kom Halseth (2019) frem til at total prosjekttid var 25% kortere for bygget i massivtre sammenliknet med bygget i stål og plasstøpt betong.

Konsulent 1 sier at feil og mangler først blir oppdaget på byggeplass. Andel feil og mangler er noe informantene mener man kan minimeres med en god prosjekteringsfase, hvor løsninger blir diskutert og fastsatt på forhånd. For prosjektet Halseth (2019) undersøkte, kom man frem til at det var 60% flere feil ved overlevering av råbygg og 20% flere feil av innvendig arbeid, for bygget i massivtre sammenliknet med bygget i stål og plaststøpt betong.

Flere av informantene trekker frem prosjekteringstiden ved bruk av massivtre. Leverandør 2 mener at prosjekteringen kan være noe mer krevende, da alle detaljer må avklares på forhånd. Entreprenør 2 hadde noe dårlig erfaring fra et prosjekt hvor mangelfull prosjektering førte til problemer rundt hulltakingen til teknisk rom. Konsulent 1 mener på sin side at det er nødvendig å lære opp entreprenørene til å sette av nok tid til prosjekteringsfasen, slik at denne blir fullstendig og man unngår å miste verdifull tid i byggefasen. Byggherre 1 erfarte i et massivtreprosjekt at det var stort fokus på dette fra entreprenøren sin side, og da spesielt rundt hulltakingen. Leverandør 1, Leverandør 2, Byggherre 1 og Byggherre 2 trekker frem at entreprenører i dag har begynt å få mer erfaring og kunnskap, noe som ifølge Leverandør 1 gjør at man takler prosjekteringsfasen veldig greit. Sett i lys av studien til Espinoza *et al.* (2016) fra 2016 kan det tyde på at det har skjedd en endring i kunnskapen og bevisstheten blant entreprenører. Her kom det nemlig frem at byggherrer, entreprenører og prosjektledere var de gruppene i bransjen som skåret dårligst på akkurat dette. Ifølge Halseth (2019) sin studie har bransjen fremdeles en vei å gå når det kommer til kunnskaper og erfaringer fra prosjekteringsfasen. Her uttrykker entreprenøren at prosjekteringstiden ble lenger og mer omfattende, da spesielt med tanke på brann og lyd. Prosjekteringen måtte revideres flere ganger, noe som opplevdes å ta lang tid, og dermed påløp også kostnadene. Dette var spesielt knyttet til rådgivning innenfor brann hvor konsulenten måtte skissere alle løsningene som skulle benyttes. Dette var også en av årsakene til forsinkelsene, slik at prosjekteringsfasen gikk inn i byggefasen, noe som var svært ugunstig.

En eiendomsutvikler i studien til Kremer og Symmons (2015) mener at tre er solgt inn som den eneste løsningen, men peker på at det også er nødvendig å benytte seg av andre materialer, for å oppnå nødvendig stabilitet i byggene. Dette støttes av Konsulent 2 som mener at massivtre er en løsning som kan fungere bra dersom det blir brukt der det er hensiktsmessig. Å bruke massivtre som byggemateriale ved påbygging er ifølge KL-trähandbok hensiktsmessig bruk, da egenvekten er lav (Svenskt Trä, 2017). Dette sier også Konsulent 1 i intervjuet. Samtidig er ikke lav egenvekt entydig positivt, for eksempel med tanke på akustikk slik det ble diskutert i kapittel 10.4.

## 10.6. Byggefase

Ved fuktendringer i treverket kan det ifølge Thommesen (u.å) oppstå sopp, kuving og sprekker. For å hindre soppdannelse krever TEK17 en målt vektprosent for fukt på under 20% . Et tiltak som blir diskutert for å hindre at massivtre blir vått under bygging, er tak-over-tak. Leverandør 2 sier tak-over-tak er en dyr løsning som går sakte og er noe de velger å ikke bruke. På bakgrunn av erfaringer som Byggherre 1 har tilegnet seg gjennom prosjekter, konkluderer vedkommende med at dette er noe som anbefales, til tross for de ekstra kostnadene. Entreprenør 1, Leverandør 1 og Byggherre 2 uttrykker også at de synes tak-over-tak er kostbart, men at det har sine positive sider. Leverandør 1 peker på det gode arbeidsmiljøet som oppstår når arbeiderne kan arbeide i tørre omgivelser. Byggherre 2 trekker frem at det hjelper mot skjolder og flekker som kommer som følge av fukt, noe som vil bety mindre etterarbeid. Hvorvidt det bør benyttes tak-over-tak eller ikke, mener Byggherre 3 det må vurderes ut fra prosjektets geografi og årstid. I en studie gjort av Time og Geving (2021) skriver de at den ytre delen av treet fuktes raskt opp, men også tørker raskt, til tross for at elementene hadde blitt utsatt for kraftig nedbør. Dette var noe Byggherre 1 også erfarte. I intervjuet ble det sagt at informanten ble overrasket over hvor fort treet tørket opp, selv om det hadde vært veldig vått under bygging. En ikke-publisert studie av Gaarder og Pettersen, viser imidlertid at tørketiden for takelementer i massivtre er svært langsom. Her blir det pekt på at fuktinnholdet avhenger av hvor utsatt bygget var for nedbør i byggefasen. Det anbefales å ha en lav byggfukt før man lukker bygget, for å minimere fuktmengden i elementene. Leverandør 1 og Leverandør 2 trekker også frem dette, og sier det er viktig å kontrollmåle fukt før lukking for å påse at fuktinnholdet er på et akseptabelt nivå. En håndverker fra studien til Kremer og Symmons (2015) mener at frykten for fuktskader svekker ryktet til massivtre som byggemateriale.

Som nevnt i avsnittet over pekte Leverandør 1 på at tak-over-tak gir et godt arbeidsmiljø. Hvis man ser på bygging med massivtre, gir dette i seg selv et godt arbeidsmiljø. I Halseth (2019) sin casestudie ble det bygget uten tak-over-tak, og der scorer bygget med massivtre bedre på både trivsel, støy, støv, arbeidsmiljø, ryddighet og sykefravær sammenliknet med bygget i stål og plaststøpt betong. Både Entreprenør 2, Konsulent 1, Leverandør 2, Byggherre 2 og Byggherre 3 mener det gir en økt trivsel å bygge med massivtre, basert på sine erfaringer. Konsulent 1 og Leverandør 2 peker også på at atmosfæren er bedre, byggeplassen er støvfri og man opplever mindre støy. Uten å selv ha bygget med massivtre, tror også Entreprenør 1 at massivtre gir bedre trivsel. Byggherre 1 sier man forttere ser resultater og hvordan rommene vil bli, allerede i byggefasen, og at det av den grunn er gøyere å jobbe med. Samtidig skaper prefabrikasjonen av elementer noen utfordringer. Ved at det monteres en vegg med ferdig overflate, krever dette at arbeiderne i byggefasen håndterer dette med forsiktighet. Dette ble tatt opp av både Entreprenør 2 og samtlige byggherrer som deltok i intervjuet.

Entreprenør 2 sier de hadde ekstra fokus på dette i et av sine massivtreprosjekt. De gikk over aktuelle overflater og markerte de som måtte behandles med ekstra varsomhet. Konsulent 1 sier at bygging med massivtre ikke gir større utfordringer med tanke på HMS enn for andre materialer. Halseth (2019) belyser på sin side at bygget i massivtre måtte bruke svært mye gips, og at arbeiderne syntes dette førte til flere tunge løft enn i bygget i stål og plasstøpt betong. Som tiltak for å bedre HMS ble det konkludert med å tilstrebe en reduksjon i bruk av gips, eller å ta i bruk hjelpemidler for gipsarbeid.

I Treteknisk sin publikasjon nr. 20 (Aarstad og Glasø, 2018) blir kort byggetid lagt frem som en av de største fordelene med massivtre. Samtidig setter en eiendomsutvikler i intervjuet til Kremer og Symmons (2015) spørsmåltegn ved en påstått redusert byggetid på 4%. Vedkommende mener dette ikke er bra nok for å gjøre materialet konkurransedyktig. Halseth (2019) fant i sin studie at byggetiden for massivtre var 40% kortere, mens den i Smith *et al.* (2016) var 20% kortere. Også Finstad (2014) fant at byggetiden ble redusert, her med 30-40%, sammenlignet med bygging i stål og betong. Yates, Linegar og Dujic (2008) dokumenterte en redusert byggetid på 26%. Alle viser en større reduksjon enn det som ble påstått av eiendomsutvikleren i studien til Kremer og Symmons (2015) på 4%. Tilegnet kunnskap og erfaring kan ha hatt innvirkning på tidsbesparelsene i disse studiene.

I intervjuprosessen som ble gjort i forbindelse med denne oppgaven, pekte informantene på kort byggetid som en av de største fordelene med bruk av massivtre. Konsulent 1, Konsulent 2 og Leverandør 2 sier at man kan spare mye tid i byggefasen dersom det er lagt et godt grunnlag i prosjekteringsfasen. Byggherre 3 sier at det er byggetiden man kan hente mest på, da man blant annet slipper å vente på at betongstøp og maling skal tørke. I Kremer og Symmons (2018) sitt intervju, mener en av arkitektene at man ved bruk av massivtre kan oppnå en raskere levering, noe som igjen kan føre til høyere inntjening. En annen arkitekt peker på at en redusert tidsbruk i byggetiden er nøkkelfaktoren for å gjøre massivtre til et godt materiale, noe en leverandør i den samme studien støtter. En produsent trekker også frem at det hadde vært fordelaktig om man i fremtiden kunne levere ferdige yttervegger hvor vinduer allerede er satt inn.

## 10.7. Drifts- og bruksfase

I TreFokus sine publikasjoner nr. 38 (Tronstad, 2018) og nr. 20 (Aarstad og Glasø, 2018), som omhandler henholdsvis trefuktighet og massivtre, skrives det om treets hygroskopiske egenskaper. Her blir det sett på hvordan treet endrer størrelse når fuktinnholdet endres. Samtidig blir det pekt på at massivtre er dimensjonsstabil, selv ved fuktendringer. Selv om massivtre skal være dimensjonsstabil har både Entreprenør 1, Konsulent 1 og Byggherre 2 trukket frem at det kan oppstå utfordringer med heissjakter bestående av massivtre. Disse problemene oppstår som følge av krymp og svelling i

heissjaktene. Konsulent 1 sa i sitt intervju at slike problemer i stor grad ble løst etter at leverandørene hadde tilegnet seg mer kunnskap om hvordan heismontasjen kunne tilpasses massivtreet. Vedkommende sier også at man i dag oppfatter at heismontørene liker heissjakter i massivtre, da de har større valgfrihet og mulighet for tilpasninger når man kan benytte hele heissjakten som spikerslag. Byggherre 2 sa at de hadde opplevd bråstopp med en heis på et av prosjektene. Her måtte de inn å etterstramme og justere heisskinnene. Senere har ikke dette lenger vært et problem. Leverandør 1 har på sin side ikke hatt noen problemer med heissjakter i massivtre.

Byggherre 3 fortalte i intervjuet at de i et massivtreprosjekt hadde fått oppsprekninger på grunn av tørt klima. Sprekker og åpninger som oppstår som følge av fuktendringer, fører ifølge Kukk *et al.* (2017) ikke bare til estetiske endringer, men påvirker også de hygroskopiske egenskapene til treet. I KL-trähandbok (Svenskt Trä, 2017) står det at styrkeegenskapene kan svekkes om luftfuktigheten og belastningen øker, men at dette kan reduseres med å bruke massivtre-elementer bestående av krysslagte lameller. Byggherre 3 sa i intervjuet at de i prosjektet hvor det oppsto sprekker og åpninger, vurderte å sette i gang tiltak. Fukting på vinterstid, når klimaet er tørt, var et av tiltakene som ble vurdert. Byggherren valgte å ikke gjennomføre dette tiltaket, da sprekkeene ikke utgjorde noen fare for bæringen i bygget. Det hadde kun estetiske konsekvenser. Både Byggherre 2 og Byggherre 3 ser imidlertid at man i ettertid burde informert kundene av massivtrebyggene bedre: på grunn av manglende kunnskap kan oppsprekninger i konstruksjonen skape bekymring. For å unngå krymp og sprekker foreslår Leverandør 2 at man kan bruke tynnere lameller i yttersjikt.

Finstad (2014) fant i sin oppgave ut at Veidekke mener man har for lite erfaring rundt livssyklus kostnad, og særlig vedlikehold, for bygninger i massivtre. Videre i intervjuene sier Ove Skår, de to leverandørene og de to byggherrene at de ikke tror det blir økte kostnader til drift og vedlikehold, sammenliknet med bygninger i stål og betong. Samtidig peker leverandørene på at det er en stor fordel med massivtre når bygget er ved slutten av sin levetid, da det er stor gjenbruksverdi i bygget. I Halseth (2019) sin oppgave kommer det frem at lønnsomheten til prosjektet vil påvirkes av behovet for vedlikehold i ettertid. En vaktmester på et av massivtrebyggene som Byggherre 3 har stått bak, uttrykker tilfredshet rundt vedlikeholdet av bygget. Vaktmesteren legger til at det er et solid bygg bestående av et robust materiale.

Både Entreprenør 1 og Konsulent 2 trekker frem at bygg i massivtre kan by på utfordringer med tanke på ombygging. Konsulent 2 sier at et massivtrebygg består av mange bærende vegger, noe som gjør det vanskelig å foreta store ombygginger. I intervjuet til Finstad (2014) forventer Veidekke noe vedlikehold og utskiftninger. Både Byggherre 1 og Byggherre 3 peker på at det er et robust materiale, men særlig Byggherre 1 opplevde at overflater ble behandlet røft under byggefasen. Dette fikk estetiske

konsekvenser i bruksfasen, og måtte utbedres da overflatene ikke skulle kles inn. Entreprenør 2 og Konsulent 2 tror vedlikehold i etterkant er kurant, både med tanke på oppsprekking, råte og skadedyr. I Kremer og Symmons (2018) trekker en av arkitektene frem problemene knyttet til termitter og andre skadedyr. Arkitekten mener dette er problemer som må bli adressert på lik linje som pris, byggetid og løsninger for håndverkere. Dette er problemer som i større grad vil være viktig å ta hensyn til i land som Australia, hvor denne studien er gjennomført. Det vil likevel være noe overføringsverdi til problemer i Norge, endog noe begrenset.

Både Konsulent 1, Leverandør 1 og Byggherre 3 påpeker at de har hatt svært fornøyde kunder, hvor godt inneklima har vært en gjenganger. Leverandør 1 sier de har opplevd at energiforbruket blir lavere enn forventet, mens Konsulent 2 peker på at folk som bor i massivtrebygg opplever et trivelig innemiljø. Dette støttes opp av det Leverandør 1 sier i sitt intervju. Vedkommende trekker frem at treets hygroskopiske egenskaper er en medvirkende årsak til det gode inneklimaet. Entreprenør 1 og Konsulent 2 tror også det kan være bedre inneklima med massivtre. Byggherre 1 sier i tillegg at massivtrebygg lukter nytt i flere år etterpå.

## 10.8. Opplevd kunnskap og holdninger

Informantenes generelle mening rundt bransjens kunnskap og holdning om massivtre, er at det har skjedd en stor utvikling de siste fem til seks årene. Konsulent 1 sier at kunnskapen var omtrent ikke-eksisterende for 5 år siden, mens Konsulent 2 sier massivtre har utviklet seg til å bli et mer kjent materiale i bransjen. Leverandør 2 trekker blant annet frem at festemidler og beregningsprogrammer har blitt bedre enn tidligere. Av Leverandør 1 og Byggherre 3 blir det trukket frem at de savner mer kunnskap hos henholdsvis brannrådgiver og RIB. De opplever at løsninger i stål og betong er mer kjent og derfor blir valgt foran massivtre. I spørreundersøkelsen til Espinoza *et al.* (2016) kommer det frem at strukturelle egenskaper, forbindelser, fukttekniske egenskaper og markedsundersøkelser er områdene det bør fokuseres på for videre forskning og innhenting av ny kunnskap.

Konsulent 2 og Byggherre 2 svarer i intervjuene at de tror kunnskapen i bransjen er litt varierende, mens Entreprenør 1 derimot tror holdningene er veldig delt. Byggherre 2 ser særlig forskjell i priser som er levert i forbindelse med ulike anbud. På bakgrunn av dette tror vedkommende at entreprenører med mindre kunnskap om massivtre legger inn en ekstra høy risiko. Entreprenør 1 underbygger dette med sin påstand om at det fortsatt er noe å gå på når det gjelder kunnskap hos entreprenører. Også Leverandør 2 tror det er en del usikkerhet hos entreprenører som fører til økte kostnader på grunn av risikopåslag. Dette støttes av spørreundersøkelsen til Espinoza *et al.* (2016) hvor det er entreprenørene, byggherrene og prosjektlederne som oppleves å ha lavest bevissthet

rundt massivtre. På den annen siden tror Konsulent 1 og Byggherre 2 at de fleste store konsulenter i dag har god kunnskap og erfaringer om massivtre. Både Entreprenør 1 og Konsulent 2 tror massivtre kanskje blir brukt på steder som ikke alltid er hensiktsmessig, noe som er uheldig for utnyttelsen av materialet.

Entreprenør 2 og Byggherre 1 tror at fagfolk i bransjen kan være litt skeptiske til massivtre før man har prøvd det selv, slik tilfellet var for dem. Entreprenør 2 tror også at holdningene til massivtre vil bli bedre når materialet ikke lenger er nytt og skummelt.

## 10.9. Myndighetspåvirkning

Konsulent 1 mener at det må til offentlige initiativer om man skal velge å bygge med massivtre. Både Entreprenør 1, Konsulent 2 og Leverandør 2 mener myndighetene har gjort mye for å påvirke til bruk av massivtre gjennom politiske vedtak, noe de stiller seg positive til. I en veiledning uttrykker Regjeringen at de har som visjon at Norge skal bli et forbilde og komme med nye bruksområder for tre i byggenæringen (Landbruks- og matdepartementet, 2014). Innovasjon Norge, som er et statlig selskap, gir støtte til nye prosjekter for å øke bruken av tre (Innovasjon Norge, u.å.). I oppgaven til Finstad (2014) kommer det frem at innovasjon Norge gav støtte til det prosjektet, fordi prosjektet forsket på nye løsninger innenfor lyd og brann. Dette bidrar til å øke kompetansen i bransjen, noe som er tanken bak støtteordninger som Innovasjon Norge. Bransjen blir da tvunget til å tenke nytt og øke kunnskapen for å kunne tilpasse seg de kravene som settes til blant annet massivtrebygg.

Entreprenør 2 og Byggherre 1 mener det offentlige kan velge om de vil sette krav eller ikke, hvor Entreprenør 2 synes det offentlige er flinke til å velge massivtre. Leverandør 2 peker også på at krav fra det offentlige vil gjøre at flere bygger med massivtre, noe som vil føre til at kompetansen øker. Byggherre 1 sier at dokumentasjon som viser bærekraftgevinsten vil føre til at politikerne velger å satse videre på det. I Hedegaard og Kreutzer (2016) sin rapport står det at Norge må videreutvikle standarder og styrke samarbeidet mellom FoU og treindustrien, for å øke bruken av tre som grønn konkurransekraft.

## 10.10. Økt bruk av massivtre

I intervjuene med folk fra bransjen kommer det frem ulike tiltak de mener må gjennomføres for at man skal få en økt bruk av massivtre. Entreprenør 1, Konsulent 1 og Byggherre 3 mener lønnsomheten til massivtre må øke for at materialet skal bli mer konkurransedyktig. Konsulent 1 og Byggherre 3 trekker frem at dette kan føre til at flere private byggherrer kommer på banen og velger å benytte massivtre i sine prosjekter. Alle byggherrene mener det offentlige må sette krav. Et krav som Byggherre 2 mener kan



stimulere til økt bruk er CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, eller å ha et direkte miljøkrav om bruk av massivtre i anbudskonkurransen. Byggherre 1 mener bruk av massivtre er noe som må kreves av den enkelte byggherre for at det skal bli benyttet, da entreprenører vil velge den billigste løsningen.

En annen ting som må på plass for at man skal se en økt bruk av massivtre er preaksepterte løsninger. Dette blir trukket frem av Entreprenør 1 og Byggherre 1. Ifølge Byggherre 1 vil dette kunne bidra til at mindre tømmer- og byggmesterfirmaer begynner å bruke massivtre. I studien til Espinoza *et al.* (2016) blir det pekt på at de største barrierene som hindrer bruk av massivtre er kompatibilitet med forskrifter. Det blir også pekt på at det er en generell misoppfatning rundt bruk av tre og mangel på teknisk informasjon. Byggherre 3 mener det er nødvendig med en stabil produksjon av massivtre i Norge, noe som har vært mangelfullt de siste årene. Det meste av massivtre har blitt importert fra land som Sverige og Østerrike.

### 10.11. Trend

Angående spørsmålet om massivtre er en trend som vil avta om noen år, mener Entreprenør 1 og Konsulent 2 at dette er tilfellet. Konsulent 2 tror datagrunnlaget som man nå samler, vil ha betydning for hvor mye det vil bli brukt i fremtiden. Byggherre 2 er usikker på om det er en trend, men tror at dagens store fokus på miljø, bidrar til økt bruk av massivtre. De andre informantene mener også at massivtre er kommet for å bli, på grunn av det store fokuset på miljø. Byggherre 3 tror også at man oppnår en god lønnsomhet ved bruk av massivtre, og at det ikke bare er miljøhensynet som bidrar til at massivtre blir valgt som byggemateriale.

Leverandør 1 peker på at det bygges massivtrefabrikker i hele verden, og at manko på trevarer ikke nødvendigvis stopper utviklingen av bruken. I dag ser man imidlertid at prisene på trevirke har økt kraftig. Byggherre 1 peker på at det gjelder å få nok trelast. I Lier og Aasheim sin analyse (2020) ser man at andelen prosjekter utført i massivtre i 2020 var på 3,7%. Frem mot 2030 er det spådd at andelen vil være 14,2%. I 2020 var 70% av studenthybler bygd i massivtre, og dette anslås å øke til 90% allerede i 2024. Analysen antar også at andelen leiligheter bygget i massivtre er forventet å øke med 2% i året fra 2019 til 2030.

### 10.12. Evaluering av resultatene

Grupped medlemmene hadde ikke gjennomført intervju før, og på grunn av manglende erfaring og kunnskap ser gruppen i ettertid at spørsmålene kunne og burde blitt formulert på en bedre måte. Svak spørsmålsformulering resulterte i at informantene ofte svarte på noe annet enn det som i utgangspunktet var hensikten med spørsmålet. Dette reduserer

validiteten i intervjuet. Her kunne gruppemedlemmene vært mer på ballen underveis i intervjusituasjonen, og passet på at intervjuet gikk den retningen som var hensikten. Dette kom som følge av valget om lav strukturingsgrad på intervjuet, som redegjort for i kapittel 8.3.2. På den annen side gav dette en innsikt i andre temaer som var relevante å ta med videre, både i andre intervjuer og i arbeidet med oppgaven.

I forkant av intervjuene hadde gruppen forberedt spørsmålene i en enkel intervjuguide. Ettersom gruppen ikke hadde tidligere erfaring med intervju, var det utfordrende å utforme spørsmålene på en måte som ikke var ledende. Dette var spesielt vanskelig i selve intervjusituasjonen, der man på en side ønsker en «lett og ledig» samtale, og på den annen side ønsker å stille spørsmål i henhold til intervjuguiden. På grunn av dette var det deler av intervjuene som ikke kunne tas med videre i resultatene, fordi det var tvil om hvorvidt det var informantene selv som kom med, eller var enig i, utsagnet eller påstanden.

Selv om noen av svarene ikke var egnet å ta med i resultatene, var det mange lange og fullstendige svar som kom av korte og åpne spørsmål. Det er disse svarene gruppen har prøvd å legge mest vekt på. Dette er svar som kom etter egen refleksjon av informantene, og som gjorde at gruppen fikk et mer nyansert bilde av bransjen.

Resultatene fra intervjuet har vært til stor hjelp, og har gitt oppgaven dybde gjennom informantenes varierende synspunkter og erfaringer. Når det er sagt er det bare gjort ni intervjuer, og informantene svarer kun fra eget ståsted. Det er viktig at resultatene fra disse intervjuene ikke ekstrapoleres og generaliseres til hele bransjen, da denne oppgaven har et begrenset omfang og ikke reflekterer meninger, kunnskaper og holdninger til andre enn de inkluderte. Samtidig er det viktig å tenke på at informantenes rolle og interesse i bransjen kan påvirke svarene deres. Likevel gir oppgaven god innsikt og et bilde av noen aktører i bransjen.

Etter hvert i intervjurunden så gruppen at flere andre aktører i bransjen burde blitt intervjuet. Dette gjelder spesielt brannrådgiver og akustiker, da dette er de fagfeltene det knyttes mest usikkerhet til når det gjelder bygninger i massivtre. Oppgavens omfang og tidsramme gjorde at dette ikke var mulig, men er noe gruppen anser at burde blitt gjort for å få ytterligere kunnskap om både utfordringer og løsninger når det kommer til brann og akustikk spesielt.

## 11. Konklusjon

Funnene gruppen har gjort i arbeidet med denne oppgaven er at massivtre er et materiale som vil bli mer benyttet i årene fremover. Med offentlige insentiver som fører til økt bruk, vil både kunnskapen og lønnsomheten rundt materialet øke. Det er et økende fokus på miljø, og med mer lokal produksjon vil massivtre trolig konkurrere med stål og betong, CO<sub>2</sub>-regnskapet tatt i betraktning. Det er fortsatt en del prosjekter som ikke slår stål og betong på lønnsomheten, men med flere gode tekniske løsninger, særlig rundt brann og akustikk, vil massivtre kunne bli konkurransedyktig. For å unngå delaminering, second flash-over og farlige røykutslipp ved brann, bør MP- og PRF-lim benyttes. Med fokus på hensiktsmessig bruk av materialer vil massivtre kunne få en betydelig rolle i bransjen fremover.

Miljø er den faktoren som har blitt pekt på som den viktigste årsaken til at massivtre blir valgt som byggemateriale. Et økt fokus på miljø i samfunnet gjør at denne premissen kan veies tyngre, selv om kostnadene i noen tilfeller kan bli dyrere. Gruppen har til tross for dette funnet ut at bruk av massivtre ikke alltid gir det laveste klimaavtrykket. Når materialer og store elementer skal benyttes i bygg bestående av mange etasjer, kommer lavkarbonbetong bedre ut. Dette henger sammen med de lange transportstrekningene av store elementer. Det meste av behovet for massivtre i Norge blir i dag dekket av import fra andre land, blant annet Østerrike, Sverige og Tyskland. Med transport fra Mellom-Europa vil CO<sub>2</sub>-regnskapet få store negative utslag. Det er derfor viktig med et miljøbevisst fokus i hele prosessen. Dette er et argument for å satse på lokal produksjon i Norge, et land bestående av mye skog. I 2020 var bare 20% av massivtreet brukt i Norge produsert i Norge (Lier og Aasheim, 2020).

En norsk satsing på produksjon krever at det er et godt marked for bruk av massivtre. En langvarig og økt etterspørsel av massivtre gir stabile og forutsigbare forhold for massivtreprodusenter. Samtidig krever markedet at det er en stabil og forutsigbar produksjon av massivtre, med jevn tilgang til råstoff. Byggherrene kan i prosjekter velge å sette krav om bruk av massivtre som bærende materiale i konstruksjonen. Det kan også legges inn miljøkrav i anbudsrundene, hvor det er entreprenørene i en totalentreprise som tar avgjørelsene på hvilket materiale som skal benyttes for å nå disse kravene. Basert på forskningen gruppen har studert og intervjuene som er gjennomført, blir det trukket frem at konsulenter og leverandører har et høyere kunnskapsnivå enn entreprenører og byggherrer. Man står i et prosjekt fritt til å forhøre seg om og be om anbefalinger fra konsulentene, men det er ikke her avgjørelsene rundt bruken av massivtre blir tatt. Avhengig av entrepriseform er det byggherre eller entreprenør som tar valget om bruk av massivtre. At store avgjørelser blir tatt i de delene av bransjen hvor kunnskapen ansees

som lavere, har i noen tilfeller ført til at materialer blir brukt på steder hvor det ikke er hensiktsmessig, eller ikke brukt i det hele tatt.

Av de ulike prosjektfasene vil det med bruk av massivtre være mest å hente i byggefasen. Prefabrikasjonen av elementer gjør montasjen på byggeplass svært effektiv, som betyr at lønnsomheten øker. Dette er forutsatt at prosjekteringsfasen er gjort grundig, og man unngår store feil og mangler på byggeplassen. Det er nettopp prosjekteringsfasen man ser er mer krevende ved bruk av massivtre, både med tanke på tiden og omfanget av den, da alle detaljer må være på plass før produksjonen av elementene. Det er foreløpig en del usikkerhet rundt vedlikehold og drift av bygg i massivtre, men det forventes ikke at kostnadene rundt dette blir høyere enn for stål og betong. Materialet er robust, og synlige skader kan behandles. Massivtre trekkes også frem som et materiale det er lett å gjenbruke, noe som kommer godt med ved rivning av bygg.

Massivtre har vist å gi bedre inneklimate, både for arbeiderne og for brukerne. Bruk av tak-over-tak for å hindre fuktskader gir også et godt klima under bygging, men er dyrt og bør vurderes avhengig av årstid og geografi for prosjektet. Det er viktig å måle fuktigheten før man lukker et bygg i massivtre. Er det for tørt i bruksfasen kan man vurdere tiltak som fukting, som kan hindre estetiske problemer. Det er uansett viktig å være klar over at tre er et materiale som lever, og vil krympe uten at det er farlig for bæringen av bygget. Dette er på grunn av de hygroskopiske egenskapene til materialet, og er noe som må tas hensyn til i prosjekteringen.

Som beskrevet i innledningen har gruppen gått ut ifra problemstillingen:

### **Hvordan øke bruken av massivtre som bærende konstruksjon? Sett i lys av Kvisgårdshjørnet på Gjøvik.**

Det har tydelig kommet frem gjennom intervjuene at kunnskapen i Norge har økt veldig de siste fem til seks årene. Byggherrer, konsulenter, leverandører og større entreprenører har økt kunnskapen sin gjennom økt bruk av materialet. Med utgangspunkt i markedsanalysen (Lier og Aasheim, 2020), og synspunktene til informantene i intervjuene, har man all grunn til å tro at bruken av massivtre vil øke i tiden fremover. Med Byggforskblader om massivtre, som forventes å publiseres i løpet av kort tid, vil kanskje mindre entreprenører som Syljuåsen AS snart ha tilstrekkelig kunnskap og trygghet om materialet, til at store bygg som Kvisgårdshjørnet på Gjøvik kan bygges med massivtre, med en god økonomisk gevinst.

## 11.1. Veien videre

Med bakgrunn i problemstillingen, hvordan kan man fremover oppnå en økt bruk av massivtre i byggebransjen? I en verden som er stadig mer fokusert på miljø og bærekraft, er det viktig at bransjen tar tak i eget klimagassutslipp. Økt bruk av massivtre er da et godt tiltak. Gruppen foreslår følgende punkter for å oppnå dette:

### *Storskalatesting av brann- og akustikk-løsninger for massivtre*

Preaksepterte og klargjorte løsninger gjør at det vil være enklere for arkitekter og mindre entreprenører å benytte seg av massivtre.

### *Miljøkrav i anbudskonkurranser*

Dersom byggherrene har miljøkrav i konkurransegrunnlaget, er sannsynligheten for bruk av massivtre betraktelig høyere. Gruppen har likevel funnet at massivtre ikke alltid er det beste alternativet i et miljøperspektiv. Miljøkrav i anbudskonkurranser vil derfor ikke være en løsning som fungerer alene.

### *Kunnskapsløft om massivtre for entreprenører og byggherrer*

Gruppen har funnet at valget om materiale i bærekonstruksjonen i stor grad gjøres av byggherrer og entreprenører. At disse to gruppene har god kunnskap om massivtre er dermed avgjørende for hvorvidt det blir valgt.

## Referanser

- Almar-Næss, A. (2021) Ekstrudering *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ekstrudering> (Hentet: 24.04.2021).
- Andersen, U. (2019) Byggskadefond advarer: Massivtre sprekker i flere danske bygg. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/byggskadefond-advarer-massivtre-sprekker-i-flere-danske-bygg/474685>.
- Anker, L. (2020) Heddal Stavkirke *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/Heddal\\_stavkirke](https://snl.no/Heddal_stavkirke) (Hentet: 08.04.2021).
- Arbeidstilsynet (u.å) Støy. Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/stoy/> (Hentet: 22.04 2021).
- Asplan Viak (2019) *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: [https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp\\_bae\\_2019.pdf](https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf) (Hentet: 04.05 2020).
- Aveyard, H. (2007) *Doing a Literature Review in Health and Social Care: A Practical Guide*.
- Brandner, R. (2013) *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT)*, Graz University of Technology. Tilgjengelig fra: [https://www.researchgate.net/profile/Reinhard-Brandner/publication/261884030\\_Production\\_and\\_Technology\\_of\\_Cross\\_Laminated\\_Timber\\_CLT\\_A\\_state-of-the-art\\_Report/links/0f317535dfd826c0a1000000/Production-and-Technology-of-Cross-Laminated-Timber-CLT-A-state-of-the-art-Report.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Reinhard-Brandner/publication/261884030_Production_and_Technology_of_Cross_Laminated_Timber_CLT_A_state-of-the-art_Report/links/0f317535dfd826c0a1000000/Production-and-Technology-of-Cross-Laminated-Timber-CLT-A-state-of-the-art-Report.pdf) (Hentet: 24.04.2021).
- Brandon, D. og Östman, B. (2016) *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings - Phase 2: Task 1 - Litteratur Review*. Stockholm: Fire Protection Research Foundation. Tilgjengelig fra: <https://www.awc.org/pdf/tmt/TMT-LiteratureReviewTallWoodFire-1811.pdf> (Hentet: 19.04.2021).
- Bryhn, R. (2020) Vikingskipet (Hamar Olympiahall) *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/Vikingskipet\\_-\\_Hamar\\_Olympiahall](https://snl.no/Vikingskipet_-_Hamar_Olympiahall) (Hentet: 23.04.2021).
- Brørs, K. (2019) *HMS for betongarbeideren*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subject:11/topic:eaf487bb-a2ad-4725-8e57-fd709dd4cade/topic:1:158640/resource:1:160304?filters=urn:filter:0d67724e-d9fa-4365-9839-4cc91c012855> (Hentet: 12.04 2021).
- Buck, D. et al. (2015) Comparison of Different Assembling Techniques Regarding Cost, Durability and Ecology - A Survey of Maui-layer Wooden Panel Assembly Load-Bearing Construction Elements. Tilgjengelig fra: [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_10\\_4\\_8378\\_Buck\\_Comparison\\_Different\\_Assembling\\_Techniques/3957](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_10_4_8378_Buck_Comparison_Different_Assembling_Techniques/3957).
- Bygg21 (2018) *Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: [https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/33019\\_delrapport-3b\\_digitalt.compressed.pdf](https://bygg21.no/wp-content/uploads/2021/03/33019_delrapport-3b_digitalt.compressed.pdf) (Hentet: 04.05 2021).
- Byggteknisk forskrift (TEK17) (2017) *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2/> (Hentet: 20.04 2021).
- Calkins, M. (2009) *Materials for Sustainable Sites*.
- Christensen, N. og Almar-Næss, A. (2019) Stål *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/st%C3%A5l#-St%C3%A5l\\_og\\_%C3%B8konomisk\\_utvikling](https://snl.no/st%C3%A5l#-St%C3%A5l_og_%C3%B8konomisk_utvikling) (Hentet: 25.04.2021).
- Connolly, T. et al. (2018) Feasibility Study of Mass-Timber Cores for the UBC Tall Wood Building, *Buildings*, 8(8), s. 16. <https://doi.org/10.3390/buildings8080098>
- Dalland, O. (2017) *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal Akademisk.
- Direktoratet for byggkvalitet (2011) *Veiledning om byggesak*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/sak/> (Hentet: 23.04 2021).
- Direktoratet for byggkvalitet (2016) *Hvem er Direktoratet for byggkvalitet?* Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/om-oss/hvem-er-direktoratet-for-byggkvalitet/> (Hentet: 23.04 2021).

- Dujiè, B., Yates, M. og Linegar, M. (2008) An 8-storey residential building in London made from cross laminated solid timber panels, s. 83-90.
- Dunn, A. (2015) *Final Report for Commercial Building Costing Cases Studies – Traditional Design versus Timber Project*. (Market Access PNA308-1213). Melbourne, Australia: Forest & Wood Products Australia. Tilgjengelig fra: <https://makeitwood.org/documents/doc-1344-the-economic-case-for-timber---andrew-dunn.pdf> (Hentet: 15.04.2021).
- Edvardsen, K. I. og Ramstad, T. Ø. (2017) *Trehus*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Eie, J. (2012) *Trekonstruksjoner - Beregning og dimensjonering*. Bekkestua: NKI Forlaget AS.
- Eliassen, A. R. (2019) *Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1*. Master's NTNU. (Hentet: 19.04.2021).
- Espinoza, O. et al. (2016) Cross-laminated timber: Status and research needs in Europe, *BioResources*, (11(1)), s. 281-295. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.281-295>
- Fanella, D. (2018) *Cost Comparison of Cross Laminated Timber (CLT) and Cast-in-place Reinforced Concrete Structures*.
- Finstad, T. (2014) *Økonomisk lønnsomhet ved bruk av bæresystemer i massivtre*. Master's, NMBU.
- Folkehelseinstituttet (2018) *Støy, helseplager og hørsteltap i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/hin/miljo/stoy/> (Hentet: 19.04.2021).
- Foss, H., Monrad, S. og de Gala, D. H. (2018) *Kvalitetssystemene for prefabrikkerte brokonstruksjoner*. Bachelor's, Universitetet i Agder. Tilgjengelig fra: <http://meerc.uia.no/wp-content/uploads/2018/09/BSc-rapport-Foss-Monrad-og-Gala-BYG2018.pdf>.
- Fragiacomo, M. et al. (2013) Fire Resistance of Cross-Laminated Timber Panels Loaded Out of Plane, *Journal of Structural Engineering*, 139(12). [https://doi.org/doi:10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000787](https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000787)
- Gjestland, T. (2018) *Akustikk Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/akustikk> (Hentet: 22.04.2021).
- Gjestland, T. (2019) *Lyd Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/lyd> (Hentet: 22.04.2021).
- Green, D. W., Winandy, J. E. og Kretschmann, D. E. (1999) *Mechanical properties of wood. Wood handbook: wood as an engineering material*. (General Technical Report GTR-113). Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. Tilgjengelig fra: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/7149> (Hentet: 17.04.2021).
- Grunnloven – Grl (2020) *Kongeriket Norges grunnlov*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1814-05-17> (Hentet: 22.04.2021).
- Grønmo, S. (2021) *Forskningsmetode - samfunnsvitenskap*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/forskningsmetode - samfunnsvitenskap](https://snl.no/forskningsmetode-samfunnsvitenskap).
- Gaarder, J. E. og Pettersen, T. D. (Ikke publisert) *Built-in moisture in cross-laminated timber roofs - a field study*. Trondheim: NTNU/TPF. (Hentet: 15.04.2021).
- Hagberg, K. (2018) *Management of Acoustics in Lightweight Structures*. Doctoral, Lund University.
- Halseth, P. T. (2019) *Boligbygging i massivtre: Sammenligning av boligblokk i massivtre og betong*. Master's thesis, NTNU.
- Hedegaard, C. og Kreutzer, I. (2016) *Grønn Konkurranseskraft*. Oslo: Regjeringens ekspertutvalg for grønn konkurransekraft. Tilgjengelig fra: <https://www.gronnkonnkurranseskraft.no/files/2016/10/Strategi-for-gronn-konkurranseskraft.pdf> (Hentet: 16.04.2021).
- Helsebiblioteket (2016) *Søketeknikker*. Tilgjengelig fra: <https://www.helsebiblioteket.no/kunnskapsbasert-praksis/litteratursok/soketeknikker>.
- Hjelseng, G. V. (2014) *Plasstøpt vs. prefabrikkert betong*. Master's, NTNU. Tilgjengelig fra: [https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/233214/755526\\_FULLTEXT01.pdf?sequence=2](https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/233214/755526_FULLTEXT01.pdf?sequence=2).
- Hofstad, K. (2018) *Norsk Standard Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/Norsk\\_Standard](https://snl.no/Norsk_Standard) (Hentet: 02.05.2021).
- Hofstad, K. (2020) *Teknisk standard Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/teknisk\\_standard](https://snl.no/teknisk_standard) (Hentet: 02.05.2021).

- Hofstad, K. (2021) CEN (Den europeiske standardiseringsorganisasjonen) *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/CEN - Den europeiske standardiseringsorganisasjonen](https://snl.no/CEN_-_Den_europeiske_standardiseringsorganisasjonen) (Hentet: 02.05.2021).
- Holtebekk, T. (2018) ISO *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/ISO> (Hentet: 02.05.2021).
- Holtebekk, T., Myren, S. K. og Ulseth, T. (2020) Desibel *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/desibel> (Hentet: 22.04.2021).
- Hox, K. (2015) *Branntest av massivtre*. (20081). Trondheim. Tilgjengelig fra: <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2015/spfr-a15101-branntest-av-massivtre.pdf> (Hentet: 19.04.2021).
- Høsøien, C. O. (2016) *Lydforhold i boliger. Evaluering av byggtekniske krav til lydforhold*. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/lydforhold-i-boliger\\_samlerapport\\_sintef\\_toi\\_multiconsult\\_mars-2016.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/lydforhold-i-boliger_samlerapport_sintef_toi_multiconsult_mars-2016.pdf) (Hentet: 19.04.2021).
- Innovasjon Norge (2015) «Treet» - verdens høyeste trehus er nå åpnet i Bergen. Tilgjengelig fra: <https://www.innovasjonnorge.no/no/om/nyheter/2015/treet---verdens-hoyeste-trehus-er-na-apnet-i-bergen/> (Hentet: 04.05 2021).
- Innovasjon Norge (u.å.) *Tilskudd til innovativt bruk av tre*. Tilgjengelig fra: <https://www.innovasjonnorge.no/no/tjenester/innovasjon-og-utvikling/finansiering-for-innovasjon-og-utvikling/tilskudd-til-innovativt-bruk-av-tre/> (Hentet: 05.04 2021).
- Jacobsen, D. I. (2015) *Hvordan gjennomføre undersøkelser? Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Cappelen Damm Akademiske.
- Karacabeyli, E. og Gagnon, S. (2019) *Canadian CLT Handbook*. FPInnovations. Tilgjengelig fra: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>.
- Kebony (2016) *Moholt 50|50 - Trondheims nyeste studentby*. Tilgjengelig fra: <https://kebony.com/no/projects/moholt-5050-trondheims-nyeste-studentby> (Hentet: 04.05 2021).
- Klima- og miljødepartementet (2020) *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/> (Hentet: 04.05 2021).
- Kremer, P. og Symmons, M. (2015) Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the Australia building industry: A PESTEL evaluation of the potential, *International Wood Products Journal*, 6, s. 2042645315Y.2042645000. <https://doi.org/10.1179/2042645315Y.0000000010>
- Kremer, P. (2018) Design of Mass Customised Manufacturing and Assembly: A New Framework for Mass Timber Construction. Tilgjengelig fra: <https://www.journalmtc.com/index.php/mtcj/article/view/3>.
- Kremer, P. og Ritchie, L. (2018) Understanding Costs and Identifying Value in Mass Timber Construction: Calculating the «Total Cost of Project» (TCP). Tilgjengelig fra: <https://www.journalmtc.com/index.php/mtcj/article/view/8/3> (Hentet: 24.04.2021).
- Kremer, P. D. og Symmons, M. A. (2018) Perceived barriers to the widespread adoption of Mass Timber Construction: An Australian construction industry case study, *Mass Timber Construction Journal*, 1(1), s. 1-8. Tilgjengelig fra: <https://www.journalmtc.com/index.php/mtcj/article/view/6?fbclid=IwAR3YW7mQZbSSxZZcIJHBUuUiwol1zvoSzBmb6SILjq8e6Z-5ffURVvIUmgw>.
- Kristoffersen, T. (2016) *Årsregnskapet - en grunnleggende innføring*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Kuilen, J. W. G. V. D. et al. (2011) Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber, *Procedia Engineering*, 14, s. 1621-1628. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204>
- Kukk, V. et al. (2017) Impact of cracks to the hygrothermal properties of CLT water vapour resistance and air permeability, *Energy Procedia*, 132, s. 741-746. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.019>



- Kvellheim, A. K. (2020) *Betong er en del av klimaløsningen*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/-betong-er-en-del-av-klimalosningen/> (Hentet: 03.05 2021).
- Landbruks- og matdepartementet (2014) *Trebroer for millioner*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/Trebroer-for-millioener/id764349/> (Hentet: 05.04 2021).
- Larsen, P. K. (2004) *Konstruksjonsteknikk - Laster og bæresystemer*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Liang, S. et al. (2020) Comparative life-cycle assessment of a mass timber building and concrete alternative, *Wood and Fiber Science*, 52, s. 217-229. <https://doi.org/10.22382/wfs-2020-019>
- Lier, B. og Aasheim, P. A. (2020) Markedsanalyse KL-tre markedet i Norge 2020-2030. Tilgjengelig fra: <https://www.viken.skog.no/files/documents/brosjyrer/markedsanalyse-230120.pdf>.
- Ljunggren, F., Simmons, C. og Hagberg, K. (2014) Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound, *Applied Acoustics*, 85, s. 57-68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2014.04.003>
- Ljunggren, F., Simmons, C. og Öqvist, R. (2017) Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound, part II, *Applied Acoustics*, 123, s. 143-151. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.03.014>
- Lotherington, P. B. (2015) *Massivtre slår betong i klimaregnskap*. Tilgjengelig fra: <https://byggmesteren.as/2015/05/20/massivtre-slar-betong-i-klimaregnskap/> (Hentet: 15.04 2021).
- McGregor, C. (2013) *Contribution of Cross Laminated Timber Panels to Room Fires*. Master's, Carleton University. Tilgjengelig fra: [https://curve.carleton.ca/system/files/etd/a2ebdee2-7ae7-4139-ad58-236c5f2c0fc2/etd\\_pdf/0b7a69db7e11094e1eb07cf632cb4b9d/mcgregor-contributionofcrosslaminatedtimberpanelsto.pdf](https://curve.carleton.ca/system/files/etd/a2ebdee2-7ae7-4139-ad58-236c5f2c0fc2/etd_pdf/0b7a69db7e11094e1eb07cf632cb4b9d/mcgregor-contributionofcrosslaminatedtimberpanelsto.pdf).
- Miyamoto, B. et al. (2021) A Small-Scale Test to Examine Heat Delamination in Cross Laminated Timber (CLT). Tilgjengelig fra: [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2021/fpl\\_2021\\_miyamoto001.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2021/fpl_2021_miyamoto001.pdf) (Hentet: 03.05.2021).
- Norsk Stål (u.å.) *Grønnere - Stålproduksjon i dag*. Tilgjengelig fra: <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/groennere-staalproduksjon-i-dag> (Hentet: 03.05 2021).
- Norske Limtreprodusenters Forening (2015) *Limtreboka*. Tilgjengelig fra: [https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka\\_2015\\_el2.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtreboka_2015_el2.pdf)
- Olsson, L. (2020) Moisture safety in CLT construction without weather protection – Case studies, literature review and interviews, *E3S Web of Conferences*, 172, s. 10001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017210001>
- Orgeret, K. S. (2018) *Kildekritikk Store norske leksikon*.
- Plan- og bygningsloven – pbl (2008) *Lov om planlegging og byggesaksbehandling*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71> (Hentet: 23.04 2021).
- PLP Architecture (u.å.) *Oakwood Timber Tower. London, UK*. Tilgjengelig fra: <http://www.plparchitecture.com/oakwood-timber-tower.html>.
- Rasmussen, I., Knudsen, J. og Ruud, A. (2006) *Politisk styring og lønnsomhet. En analyse av rammebetingelser for energiomlegging i byggeog eiendomssektoren i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/32693/prosus.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Regjeringen (2019) *Veiledninger og brosjyrer*. Tilgjengelig fra: [https://www.regjeringen.no/no/dokument/veiledninger\\_brosjyrer/id438822/](https://www.regjeringen.no/no/dokument/veiledninger_brosjyrer/id438822/) (Hentet: 23.04 2021).
- Rønning, A. et al. (2019) *Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner* (OR.26.19). Oslo: Østfoldforskning. Tilgjengelig fra:

- <https://www.betongelement.no/siteassets/dokumenter/or-26-19-klimagassregnskap-av-tre--og-betongkonstruksjoner.pdf> (Hentet: 15.04.2021).
- Sandaker, B. N., Sandvik, M. og Vik, B. (2017) *Materialekunnskap*. Oslo: Byggenæringens Forlag AS.
- Sardén, Y. (2005) *Complexity and learning in timber frame housing*. Doctoral Thesis, Luleå University of Technology. Tilgjengelig fra: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:999227/FULLTEXT01.pdf> (Hentet: 23.04.2021).
- SINTEF (2021) *Om oss*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/om-sintef/> (Hentet: 23.04 2021).
- SINTEF Byggforsk (2000) *Isolering mot utendørs støy. Beregningsmetode*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/192/isolering mot utendoers stoey beregningemetode](https://www.byggforsk.no/dokument/192/isolering_mot_utendoers_stoey_beregningemetode).
- SINTEF Byggforsk (2001) *Massive treelementer. Typer og bruksområder*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive treelementer typer og bruksomraader](https://www.byggforsk.no/dokument/3009/massive_treelementer_typer_og_bruksomraader) (Hentet: 16.04 2021).
- SINTEF Byggforsk (2003) *Snølast på tak. Dimensjonerende laster*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast paa tak dimensjonerende laster](https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast_paa_tak_dimensjonerende_laster) (Hentet: 28.03 2021).
- SINTEF Byggforsk (2007) *Støydempende golvkonstruksjoner i tekniske rom*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/342/stoeydempende golvkonstruksjoner i tekniske rom](https://www.byggforsk.no/dokument/342/stoeydempende_golvkonstruksjoner_i_tekniske_rom).
- SINTEF Byggforsk (2009a) *Etasjeskillere i massivtre*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891 etasjeskillere i massivtre](https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_etasjeskillere_i_massivtre) (Hentet: 16.04 2021).
- SINTEF Byggforsk (2009b) *Lydisolerende golv og golvbelegg*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/341/lydisolerende golv og golvbelegg](https://www.byggforsk.no/dokument/341/lydisolerende_golv_og_golvbelegg).
- SINTEF Byggforsk (2015a) *Lydisolerende, tunge etasjeskillere. Konstruksjonseksempler*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/2566/lydisolerende tunge etasjeskillere konstruksjonseksempler](https://www.byggforsk.no/dokument/2566/lydisolerende_tunge_etasjeskillere_konstruksjonseksempler).
- SINTEF Byggforsk (2015b) *Lydisolerende, tunge etasjeskillere*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/340/lydisolerende tunge etasjeskillere](https://www.byggforsk.no/dokument/340/lydisolerende_tunge_etasjeskillere).
- SINTEF Byggforsk (2016a) *Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag. Målte verdier*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/339/lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag maalte verdier](https://www.byggforsk.no/dokument/339/lydisolerende_etasjeskillere_med_trebjelkelag_maalte_verdier).
- SINTEF Byggforsk (2016b) *Lover og regler for bygg- og anleggsnæringen*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/31/lover og regler for bygge og anleggsnaeringen](https://www.byggforsk.no/dokument/31/lover_og_regler_for_bygge_og_anleggsnaeringen)
- SINTEF Byggforsk (2016c) *Lover og regler for bygge- og anleggsnæringen*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/31/lover og regler for bygge og anleggsnaeringen](https://www.byggforsk.no/dokument/31/lover_og_regler_for_bygge_og_anleggsnaeringen).
- SINTEF Byggforsk (2016d) *Lydisolerende egenskaper for yttervegger*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/366/lydisolerende egenskaper for yttervegger](https://www.byggforsk.no/dokument/366/lydisolerende_egenskaper_for_yttervegger).
- SINTEF Byggforsk (2017a) *Lydisolasjonsegenskaper for tak*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/393/lydisolasjonsegenskaper for tak](https://www.byggforsk.no/dokument/393/lydisolasjonsegenskaper_for_tak).
- SINTEF Byggforsk (2017b) *Lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag i boliger*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/338/lydisolerende etasjeskillere med trebjelkelag i boliger](https://www.byggforsk.no/dokument/338/lydisolerende_etasjeskillere_med_trebjelkelag_i_boliger).
- SINTEF Byggforsk (2018) *Søyler av stål. Dimensjoneringstabeller*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler av staal dimensjoneringstabeller](https://www.byggforsk.no/dokument/307/soeyler_av_staal_dimensjoneringstabeller) (Hentet: 04.05 2021).
- SINTEF Byggforsk (2021) *Hva er Byggforskserien*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/side/198/hva er byggforskserien](https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien) (Hentet: 23.04 2021).

- Skaug, E. (2018) *Trevirkets oppbygging og egenskaper*. Tilgjengelig fra: <http://www.tretekknisk.no/publikasjoner/fokus-pa-tre/fokus-40--trevirkets-oppbygging-og-egenskaper> (Hentet: 08.04 2021).
- Skullestad, J. L., Bohne, R. A. og Lohne, J. (2016) High-rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Alternatives, *Energy Procedia*, 96, s. 112-123.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.112>
- Smith, R. E. et al. (2016) Mass timber: evaluating construction performance, *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1-2), s. 127-138.  
<https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1273089>
- Solvik, F. (2019) Bygningsakustikk *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/bygningsakustikk> (Hentet: 22.04.2021).
- Srisantharajah, J. og Ullah, S. (2015) *En studie av fuktinnhold i massivtre - Oppfuktings- og uttørkingsprosessen*. Master's, NMBU.
- Standard Norge (2009) *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster*
- . Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=392208>.
- Standard Norge (2010) *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=436137>.
- Standard Norge (2016) *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=814847>.
- Standard Norge (2018) *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=997269>.
- Standard Norge (2019) *Lydforhold i bygninger — Lydklasser for ulike bygningstyper*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1045700>.
- Standard Norge (u.å.) *Eurokoder*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/>  
(Hentet: 02.05 2021).
- Store norske leksikon (2019) Hulldekke-element. Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/hulldekke-element> (Hentet: 23.04.2021).
- Svenskt Trä (2017) *KL-trähandbok. Fakta och projektering av KL-träkonstruksjoner*. Svenskt Trä. Tilgjengelig fra: <https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/svt-kl-trahandbok-2017.pdf>.
- Tekna (2019) 7 gode grunner til å bruke tre som byggemateriale. Tilgjengelig fra:  
<https://www.tekna.no/kurs/innhold/7-gode-grunner-til-a-bruke-tre-som-byggemateriale/>.
- Thommesen, J. E. (u.å) Unngå sprekker i tregolvne. Tilgjengelig fra:  
[https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/fagartikler/byggfakta\\_4-2014.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/fagartikler/byggfakta_4-2014.pdf).
- Thue, J. V. (2014) Hus *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/hus> (Hentet: 18.03.21).
- Thue, J. V. (2019a) Armeringsstål *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/armeringsst%C3%A5l>.
- Thue, J. V. (2019b) Betong *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/betong#-Historikk>.
- Thue, J. V. (2019c) Armert Betong *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:  
[https://snl.no/armert\\_betong](https://snl.no/armert_betong).

- Time, B. og Geving, S. (2021) Å bygge med massivtre i regnvær. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2021/a-bygge-med-massivtre-i-regnvar/>.
- Tranøy, K. E. (1986) *Vitenskapen - samfunnsmakt og livsform*. Universitetsforlaget. Tilgjengelig fra: <https://www.nb.no/nbsok/nb/86e77f3710257fc4d221cc8641005e21?lang=no#6>
- TreFokus (2004) *Tre og miljø*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/miljo-og-berekraft/hvorfor-er-tre-et-miljoennlig-byggemateriale-> (Hentet: 08.04 2021).
- TreFokus (2013) Treindustriens Lille Grønne. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/Treindustriens-lille-gronne.pdf>.
- Treindustrien (u.å.) *Nøkkeltall*. Tilgjengelig fra: <http://www.treindustrien.no/nokkeltall> (Hentet: 04.05 2021).
- Treteknisk (2006) *Bygge med massivtreelementer*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>.
- Tronstad, S. (2018) *Trefuktighet - tørking*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-38.pdf>.
- Tronstad, S. og Steiner, Y. (2018) *Rett trelast*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-33.pdf>.
- Tronstad, S. (2019) *Limtre Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/limtre> (Hentet: 23.04.2021).
- Unicon (u.å.) *Lavkarbonbetong*. Tilgjengelig fra: <https://www.unicon.no/produkter-tjenester/lavkarbonbetong/> (Hentet: 03.05 2021).
- Walsh, A. (2013) *Lend Lease's wooden Forté in Melbourne Docklands reaches halfway sales point*. Tilgjengelig fra: <https://www.urban.com.au/expert-insights/building/20952-ytc-flicker-forte-marketing-campaign-launch> (Hentet: 03.04 2021).
- Woodson, R. D. (2012) *Concrete portable handbook*.
- Wormdal, E. et al. (2017) *Brannsikkerhet i bygg med massivtre*. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap
- Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/spfr-a16-20229-brannsikkerhet-i-bygg-med-massivtre\\_spfr-2017.pdf](https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/spfr-a16-20229-brannsikkerhet-i-bygg-med-massivtre_spfr-2017.pdf) (Hentet: 22.04.2021).
- Øvrum, A. (2012) *Konstruksjonsvirke*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/43-Konstruksjonsvirke.pdf>.
- Aarstad, J. og Glasø, G. (2018) *Massivtre*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-20.pdf>.

## Vedleggsoversikt

Vedlegg 1: Beregninger

Vedlegg 2: Utrekninger

Vedlegg 3: Intervjuguide

Artikkel

Plakat

