

Rune Kruse Måløy & Rasmus Thorsen Vengen

## Drivere og barrierer for økt bruk av KL-tre og limtre

Med utgangspunkt i erfaringer fra næringen og Lean Construction-metodikk

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Marit Støre-Valen & Alenka Temeljotov-Salaj

Juni 2020



Rune Kruse Måløy & Rasmus Thorsen Vengen

## **Drivere og barrierer for økt bruk av KL-tre og limtre**

Med utgangspunkt i erfaringer fra næringen og Lean Construction-metodikk

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Marit Støre-Valen & Alenka Temeljotov-Salaj  
Juni 2020

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



Kunnskap for en bedre verden



# Sammendrag

I 2020 har klimaendringer og befolkningsvekst, sammen med teknologiske fremskritt, ført til at betong og stål har fått en utfordrer i moderne byggeprosjekter. Bæresystemer i tre blir stadig mer fremtredende i dagens marked. Mangel på kunnskap og erfaring, samt økonomiske interesser, er barrierer for ytterligere bruk av tre i nybygg. Denne masteroppgaven retter derfor fokus på hvordan bygging med bæresystemer i limtre og KL-tre kan bli mer attraktivt for byggeprosjekters interessenter.

Masteroppgaven ble innledet med en litteraturstudie, og senere ble 14 informanter med erfaring fra prosjekter i limtre og KL-tre intervjuet. I tillegg har forfatterne besøkt ulike pågående prosjekter, ett produksjonslokale, samt observert prosjekteringsmøter for å ha bedre forutsetninger for å tolke funnene i oppgaven. *Lean Construction*-prinsipper ble brukt som referanser til å kategorisere funn relatert til flyt og produktivitet.

Økende etterspørsel, i tillegg til produksjonsøkning av KL-tre i Norden, kan potensielt styrke det lokale konkurransemarkedet og redusere enhetsprisen på elementene. Med tiden vil næringen tilegne seg ytterligere erfaring og kompetanse med trebygg, som sannsynligvis vil øke produktivitet og redusere risiko for aktørene. Funnene i denne oppgaven indikerer at mangelfulle forskrifter og fravær av dokumenterte løsninger fremstår som hindringer for en høyere andel nybygg i tre, og bør oppdateres. Å ivareta brann- og lydkrav nevnes som spesielt ressurskrevende utfordringer. Systemer for erfaringsoverføring mellom personer og prosjekter pekes ut som et område med stort forbedringspotensial, blant annet på grunn av nevnte utfordringer. Det viser seg at timebruken hos tekniske fag reduseres i trebygg, men dette resulterer ikke i lavere pristilbud fra fagene. Bruk av *Lean Construction*-verktøy varierte blant informantene, men flere av prinsippene kan sies å bli benyttet i praksis. Samtidig ble det funnet at bruk av *Takt* eller andre former for streng punktlig logistikk i elementmontasjen øker produktiviteten.

For at byggeprosessen skal gjennomføres kostnadseffektivt anbefales det å velge tre som bærekonstruksjon i forprosjektutviklingen eller tidligere. På den måten har prosjektledelsen gode forutsetninger for å velge kostnadseffektive løsninger tilpasset trematerialer. All prosjektering, inkludert fra tekniske fag, må være ferdig før underlaget sendes til produsent. Erfaring og kunnskap med bygging i tre er vesentlige suksessfaktorer for et vellykket prosjekt. Dette gjelder spesielt for prosjektledelsen, arkitekter, rådgivende ingeniører og montasjeteam. Med gode prosesser og tilpassede løsninger kan bygging i tre bli mer kostnadseffektivt og attraktivt for interessentene.



# Abstract

It's 2020, and climate change, population growth and technological advances have resulted in concrete and steel gaining a competitor in modern construction projects. Supporting structures in timber are becoming more prominent in today's market. Lack of knowledge and experience, as well as financial interests, are barriers for further use of timber in new buildings. This master thesis therefore focuses on how building with support systems in glued laminated timber and cross-laminated timber can become more attractive to building project stakeholders.

This master thesis began with a literature study, and later 14 informants with experience from projects in glulam and CLT were interviewed. In addition, the authors have visited various ongoing projects, one production room, and observed design meetings in order to have better conditions for interpreting the findings of the thesis. *Lean Construction* principles were used as references to categorize the findings related to flow and productivity.

Increasing demand, in addition to the increase in production of CLT in the Nordic countries, can potentially strengthen the local competitive market and reduce the unit price of the items. Over time, the industry will acquire additional experience and expertise with timber buildings, which is likely to increase productivity and reduce the risk for the stakeholders. The findings in this paper indicate that insufficient regulations and the absence of documented solutions appear to be obstacles for the extended use of timber in new buildings and should be updated. Meeting fire and sound requirements are mentioned as a particularly resource-intensive challenge. Systems for transferring experience between people and projects are identified as an area with great potential for improvement, partly because of the aforementioned challenges. It turns out that the productivity of technical contractors is increased in wooden buildings, but this does not result in lower price offers from these contractors. The use of *Lean Construction* tools varied among the informants, but several of the principles can be said to be applied in practice. At the same time, it was found that the use of *Takt time*, or other forms of strict punctual logistics in the element assembly, increased productivity.

In order for the construction process to be carried out cost-effectively, it is recommended to choose timber as a supporting structure in the project development phase or earlier. In this way, project management will have better conditions for choosing cost-effective solutions adapted to timber materials. The design, including details for the sub-contractors, must be completed before submitting the request to the manufacturer. Experience and knowledge of building in timber are essential success

factors for the project. This is especially true for project management, architects, consulting engineers and assembly workers. With efficient processes and customized solutions, building in timber can be more cost-effective and attractive to stakeholders.



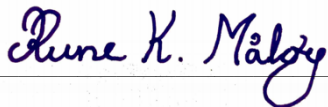
# Forord

Denne masteroppgaven er et resultat av samarbeidet mellom Rune Kruse Måløy og Rasmus Thorsen Vengen våren 2020. Oppgaven er skrevet under fordypningsemnet TBA4930 Eiendomsutvikling og forvaltning, underlagt Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Begge forfatterne har vært inkludert i hele prosessen, deltatt i alle fasene av oppgaven og lagt ned lik mengde arbeid.

Bakgrunnen for at forfatterne ønsket å skrive om KL-tre og limtre var i stor grad inspirert av byggenæringens økte fokus på bærekraft og miljøutfordringene verden i dag står overfor. I tillegg ønsket forfatterne å bidra til innovasjon i næringen. Oppgaven er skrevet som et bidrag til bruk og utvikling av nevnte trebaserte produkter, ved å fokusere på erfaringer og prosesser som gir verdi til de involverte aktørene.

Denne oppgaven har vært jevnlig veiledet av Marit Støre-Valen og Alenka Temeljotov-Salaj. Vi ønsker å takke for tett oppfølging, motiverende ord, tilbakemeldinger og faglige innspill under hele prosessen. Samtidig ønsker vi å takke samtlige intervjuobjekter som har stilt opp som informanter, vært positive til oppgaven vår, og gitt oss stå-på-vilje gjennom hele prosessen.

Trondheim, 03. juni 2020



Signatur

Rune Kruse Måløy



Signatur

Rasmus Thorsen Vengen



# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>INTRODUKSJON</b> .....	<b>21</b>
1.1	BAKGRUNN OG MOTIVASJON FOR OPPGAVEN .....	21
1.2	HOVEDMÅL FOR OPPGAVEN .....	22
1.3	AVGRENSNINGER.....	23
1.4	KRITISK REFLEKSJON .....	24
<b>2</b>	<b>METODE</b> .....	<b>25</b>
2.1	FORSKNINGSDESIGN .....	25
2.1.1	<i>Innsamling og bearbeidelse av data</i> .....	25
2.2	LITTERATURSTUDIE .....	26
2.2.1	<i>Søketodikk</i> .....	26
2.2.2	<i>Citation Chaining</i> .....	26
2.2.3	<i>Akademiske databaser</i> .....	27
2.2.4	<i>Ikke-akademiske databaser</i> .....	27
2.2.5	<i>Vurdering av kilden</i> .....	28
2.3	BEFARING OG OMVISNING .....	28
2.4	SEMISTRUKTURERTE INTERVJUER.....	29
2.4.1	<i>Gjennomføring av intervjuer</i> .....	29
2.4.2	<i>Observasjon</i> .....	30
2.5	STYRKER OG BEGRENSNINGER VED VALGT METODE.....	30
<b>3</b>	<b>TEORI</b> .....	<b>33</b>
3.1	DAGENS KLIMASITUASJON .....	33
3.2	TRE SOM ET HISTORISK BYGGEMATERIALE.....	34
3.3	TRE SOM BYGGEMATERIALE I DAGENS BYGGERIER .....	34
3.3.1	<i>Limtre</i> .....	34
3.3.2	<i>KL-tre (massivtre)</i> .....	36
3.3.3	<i>Samvirkekonstruksjoner</i> .....	36
3.4	KL-TRE- OG LIMTREBYGGS EGENSKAPER.....	37
3.4.1	<i>Klimagassutslipp</i> .....	37
3.4.2	<i>Brann og lyd</i> .....	39
3.4.3	<i>Fukt</i> .....	42
3.4.4	<i>Andre karaktertrekk limtre og KL-trebygg</i> .....	43
3.5	LIM- OG MASSIVTREMARKEDET .....	44
3.5.1	<i>Markedsandel mot tradisjonelle bærekonstruksjoner</i> .....	44
3.5.2	<i>Det internasjonale lim- og KL-tre markedet</i> .....	46
3.5.3	<i>Det norske markedets status og potensial</i> .....	46
3.5.4	<i>Hva må til for å få å styrke det norske markedet</i> .....	47
3.6	NASJONALE MÅL OG NÆRINGENS OPPMUNTRING TIL BRUK.....	48
3.7	PROSESSENE FRA IDÉ TIL FERDIG BYGG .....	49
3.7.1	<i>Involvering av et utvalg sentrale aktører sett fra utførendeperspektivet</i> .....	52
3.7.2	<i>Lean Construction og bæresystemer i limtre og KL-tre</i> .....	53
3.7.3	<i>Verdiskapning i byggeprosessen</i> .....	54
3.8	GENERELT OM <i>LEAN CONSTRUCTION</i> .....	56

3.9	SEVEN WASTES OF <i>LEAN</i> .....	56
3.10	KOSKELAS ELLEVE PRODUKSJONSPRINIPPER .....	57
3.10.1	<i>Reduser antallet ikke-verdiskapende aktiviteter</i> .....	57
3.10.2	<i>Øk produksjonsverdien gjennom systematisk vurdering av kundens behov</i> .....	57
3.10.3	<i>Reduser variabilitet</i> .....	57
3.10.4	<i>Reduser syklustiden</i> .....	58
3.10.5	<i>Forenkle prosessen ved å minimere antall trinn, deler og sammenkoblinger</i> .....	58
3.10.6	<i>Øk fleksibiliteten i produksjonen</i> .....	58
3.10.7	<i>Gjør prosessen mer transparent</i> .....	58
3.10.8	<i>Fokuser på å ha kontroll over hele prosessen</i> .....	59
3.10.9	<i>Legg tilrette for kontuerlig forbedring</i> .....	59
3.10.10	<i>Balanser forbedring i flyt (flow) med fornying av utstyr og prosesser</i> .....	60
3.10.11	<i>Mål og sammenlign (benchmarking)</i> .....	60
3.11	JUST-IN-TIME .....	60
3.12	LAST PLANNER SYSTEM .....	61
3.13	TAKT-PANLEGGING .....	63
3.14	5S-METODEN .....	64
<b>4</b>	<b>RESULTATER</b> .....	<b>65</b>
4.1	INTERVJUUTFØRELSE .....	65
4.2	INTERVJUOBJEKTER.....	67
4.3	MARKEDSSITUASJON .....	68
4.4	FORDELER OG MULIGHETER .....	70
4.5	ULEMPER OG UTFORDRINGER: .....	72
4.6	ØKONOMI OG REDUSERING AV MASSIVTRE-PROSJEKTERS TOTALKOSTNAD.....	74
4.7	ERFARINGER OG RÅD .....	76
4.8	BRUK AV <i>LEAN CONSTRUCTION</i> -VERKTØY OG PRODUKTIVITETSMÅLING .....	79
4.9	OPPNÅ FLYT OG ØKE PRODUKTIVITET .....	81
4.10	KOMMUNIKASJON OG ERFARINGSOVERFØRING.....	83
4.11	IKKE-VERDISKAPENDE ELEMENTER .....	85
4.12	BEFARING AV ZEB LAB PÅ GLØSHAUGEN CAMPUS, TRONDHEIM. ....	86
4.13	OMVISNING PÅ MOELVEN LIMTRE AS PRODUKSJONSLOKALER, MOELVEN. ....	89
4.14	OBSERVASJON AV PROSJEKTERINGSMØTER, HENT HOVEDKONTOR, TRONDHEIM. ....	91
<b>5</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>93</b>
5.1	MARKEDET FOR LIMTRE OG KL-TRE.....	93
5.1.1	<i>Markedssituasjonen i Norge</i> .....	93
5.1.2	<i>Transport, risiko og logistikk</i> .....	94
5.1.3	<i>Leveringstid fra bestilling</i> .....	94
5.1.4	<i>Inntrykk av kostnadsbilde</i> .....	95
5.2	DRIVERE FOR TREBYGG .....	95
5.2.1	<i>Intervjudeltakernes svar etter hyppighet og kategori</i> .....	95
5.2.2	<i>Klimagassutslipp</i> .....	96
5.2.3	<i>Innemiljø</i> .....	97
5.2.4	<i>Byggetid og arbeidsmiljø</i> .....	97
5.2.5	<i>Hulltaking, spikerslag, bæreevne og byggets fleksibilitet</i> .....	98
5.3	BARRIERER FOR TREBYGG .....	99
5.3.1	<i>Intervjudeltakernes svar etter hyppighet og kategori</i> .....	99
5.3.2	<i>Fukt</i> .....	99
5.3.3	<i>Brann og lyd</i> .....	100

5.3.4	<i>Uvante problemstillinger i prosjekteringen og manglende kompetanse blant aktørene.....</i>	101
5.3.5	<i>Materialegenskaper og montasje.....</i>	101
5.4	ØKONOMI I KL-TREPROSJEKTER.....	103
5.4.1	<i>Innfasing av sentrale aktører tidlig.....</i>	103
5.4.2	<i>Entreprenørens rolle og innkjøp av varer og tjenester.....</i>	104
5.4.3	<i>Prosjektering med fokus på økonomiske løsninger og rasjonelle konstruksjonsdeler.....</i>	105
5.4.4	<i>Forfatterens betrakninger.....</i>	107
5.5	INFORMANENES ERFARINGER OG PROSJEKTSTRATEGI.....	107
5.5.1	<i>Strategisk definisjon.....</i>	107
5.5.2	<i>Programutvikling og konseptutvikling.....</i>	108
5.5.3	<i>Forprosjektutvikling.....</i>	108
5.5.4	<i>Utvikle grunnlag for produksjon og leveranse.....</i>	109
5.5.5	<i>Produksjon og leveranse.....</i>	110
5.6	BRUK AV LEAN-VERKTØY OG PRODUKTIVITETSMÅLING.....	111
5.7	INFORMASJONSFLYT MELLOM PERSONER OG PROSJEKTER.....	113
5.8	FJERNING AV IKKE-VERDISKAPENDE ELEMENTER.....	114
5.9	FLYT OG PRODUKTIVITET SETT FRA ET LEAN-PERSPEKTIV.....	115
5.9.1	<i>Praktiseres Koskela (1992) sine produksjonsprinsipper blant entreprenørene?.....</i>	115
5.9.2	<i>Praktiseres Koskela (1992) sine produksjonsprinsipper blant andre interessenter i prosjektet?.....</i>	117
6	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>121</b>
7	<b>ANBEFALINGER FOR VIDERE ARBEIDER.....</b>	<b>123</b>
8	<b>REFERANSELISTE.....</b>	<b>125</b>
9	<b>VEDLEGGSLISTE.....</b>	<b>133</b>
	VEDLEGG 1 - INTERVJUGUIDE.....	133
	VEDLEGG 2 - OBSERVASJONSNOTATER.....	133



# Figurer

Figur 1 - Totalt klimagassutslipp fra materialproduksjon (t.v) og anvendelse av materialer i påfølgende produksjon eller sluttforbruk (t.h) 2015. Hentet fra (Hertwich et. al., 2019).....	33
Figur 2 - Tverrsnitt i limtre (Norske limtreprodusenters forening, 2018) .....	35
Figur 3 - Eksempel på KL-trelement med 5 sjikt. (Edvardsen & Ramstad, 2014).....	36
Figur 4 - KL-tredekke med påstøp og vibrasjonsisolerende overgulv. Illustrasjon: (SINTEF, 2017) .....	40
Figur 5 - Lydvegg, 100 mm massivtre og 98 mm bindingsverk (Trefokus, 2011a) .....	41
Figur 6 - Lydvegg, 2x100 massivtre 13 mm gips på to sider (Trefokus, 2011b) .....	41
Figur 7 - Prognose for KL-tre forbruk fra 2020-2030 (Trebruk, 2020).....	45
Figur 8 - Kandidatene til årets trebyggeri 2019. f.v. Mjøstårnet (foto: ukjent), JJ kaffebrenneri (foto: Stefan Offergaard) og Finansparken (foto: Ole Harald Dale). Illustrasjoner er hentet fra Woodify, u.å og Byggeindustrien, 2019).....	49
Figur 9 - Byggeprosessen (Eikeland, 1999). (Illustrert av Rasmus T. Vengen) .....	50
Figur 10 - Gjennomføringen av Moholt 50/50 (Illustrasjon: Lien & Lolli, 2019).....	53
Figur 11 - leanWOOD's modell for byggeprosessen; «den ideelle prosessen». Illustrasjon (Geier, 2019)..	53
Figur 12 - MacLeamy-kurven. (Illustrasjon av le Roux et. al. (2016).....	55
Figur 13 - ZEB Lab. Illustrasjon: LINK Arkitektur (Hentet fra: Byggfakta, 2020a).....	86
Figur 14 - Slisset spor til festebrakett i limtresøyle (t.v. og m), samt bjelkekonstruksjon oppå søylen (t.h.) (Foto: Rasmus T. Vengen) .....	87
Figur 15 - Ulike festebraketter mellom KL-trelementer (Foto: Rasmus T. Vengen).....	88
Figur 16 - Sprekkdannelse i trappesjakt (Foto: Rune Kruse Måløy).....	88
Figur 17 - Styrkesortering. (Foto: Rasmus T. Vengen) .....	89
Figur 18 - Verktøyrom (Foto: Rasmus T. Vengen) .....	90
Figur 19 - Spesialdimensjoner bearbeides i egen hall. (Foto: Rasmus T. Vengen).....	90
Figur 20 - Vestibylene til kommende Borgafjellet barneskole. (Illustrasjon: Os Kommune).....	91





# Tabeller

Tabell 1 - Søkemetodikk i akademiske databaser.....	27
Tabell 2 - Styrker og begrensninger til ulike metoder.....	30
Tabell 3 - Funn fra ulike rapporter som sammenligner betong og tre. ....	38
Tabell 4 - KL-treets egenskaper i en brannsituasjon, mot preaksepterte ytelser .....	39
Tabell 5 - Andre karakteristikk ved limtre og KL-tre.....	43
Tabell 6 - Prognose tall fra Trebruk (2020).....	45
Tabell 7 - Gjennomføring av bygg- og anleggsprosjekter (Bygg21, 2015b).....	51
Tabell 8 - Eksempel på <i>Takt</i> -planlegging .....	63
Tabell 9 - Intervjuobjektene som har bidratt, deres rolle i næringen og deres relevans for oppgaven. ....	67
Tabell 10 - Relevante uttalelser innenfor markedssituasjonen til limtre og KL-tre. ....	68
Tabell 11 - Relevante uttalelser innenfor temaet fordeler og muligheter .....	70
Tabell 12 - Relevante uttalelser innenfor temaet ulemper og utfordringer .....	72
Tabell 13 - Relevante uttalelser innenfor temaet økonomi og redusering av massivtre-prosjekters total kostnad .....	74
Tabell 14 - Relevante uttalelser innenfor temaet erfaringer og råd til bygging i KL-tre .....	76
Tabell 15 - Relevante uttalelser innenfor temaene <i>Lean Construction</i> -verktøy og produktivitetmåling .	79
Tabell 16 - Relevante uttalelser for hvordan god flyt oppnås i dag, samt øke produktiviteten i fremtiden. .....	81
Tabell 17 - Relevante uttalelser innenfor temaene kommunikasjon og erfaringsoverføring.....	83
Tabell 18 - Relevante uttalelser innenfor temaet ikke-verdiskapende elementer.....	85
Tabell 19 - Prosjektinformasjon, Zeb lab .....	86
Tabell 20 - Moelven Limtre AS.....	89
Tabell 21 - Prosjektinformasjon, Borgafjellet barneskole .....	91
Tabell 22 - Faktorer for observasjonsstudiet.....	92
Tabell 23 - Hyppigst nevnte fordeler og muligheter for bygging i limtre og KL-tre .....	95
Tabell 24 - Hyppigst nevnte ulemper og utfordringer for bygging i limtre og KL-tre .....	99



# Forkortelser og forklaringer

BH	Byggherre.
BRA	Bruksareal.
Byggteknisk forskrift	Oftest omtalt av forfatterne i oppgaven som «teknisk forskrift» eller «TEK17». Dette er en forskrift om tekniske krav til byggverk, som trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge.
Bygg21	Bygg21 er et samarbeid mellom bygg- og eiendomsnæringen og statlige myndigheter, og fungerer som en arena for å samle «beste praksis» gjennom rapporter, veiledere, råd og anbefalinger.
Dekker	Betegnelse på gulvkonstruksjon.
Funksjonskrav	Funksjonskrav er overordnede formål eller oppgaver som skal oppfylles i det ferdige byggverket.
GtCO <sub>2</sub> e	Gigatonn CO <sub>2</sub> -ekvivalenter.
Informant	Intervjuobjekt. Refererer til en person som har blitt intervjuet av forfatterne.
KL-tre	Krysslimt tre. Internasjonalt kjent som CLT (Cross laminated timber), er en måte å strukturere lag med lameller og lime dem sammen.
Lamell	Planker (også kalt bord) som limtre og KL-tre er bygget opp av.
LCA	Life Cycle Assessment, og kjent som «livsløpsvurdering», er systematisk kartlegging og vurdering av miljø- og ressurspåvirkninger gjennom hele livsløpet til et produkt/produksystem.
Limtre	Byggemateriale av sammenlimte lameller. Som regel dyrere og sterkere enn KL-tre, og brukes ofte som søyler eller bjelker.
Massivtre	Massivtre er en etablert samlebetegnelse på kantstilte-, krysslimte- og hullromselementer. Massivtre er i denne oppgaven synonymt med krysslimt tre (se forklaring av KL-tre).
Massivtrebygg	Massivtrebygg er i denne oppgaven en betegnelse på byggverk der store deler av bærekonstruksjonen er oppført med KL-tre. KL-tre operer sjeldent som eneste konstruksjonsmateriale, og limtre blir ofte brukt som søyler, bjelker eller i andre forsterkningssoner.
Preaksepterte løsninger	Også kalt «preaksepterte ytelser», er gitt av Direktoratet for byggkvalitet, og er ytelser som vil oppfylle, eller bidra til å oppfylle, ett eller flere funksjonskrav i forskriften.
SINTEF	Uavhengig flerfaglig forskningsinstitutt.
Spikerslag	Mulighet for innfesting med spiker, skruer ol.
Tekniske fag	Samlebetegnelse på fag innenfor EL, VVS (varme-, ventilasjons-, sanitærteknikk) mm.
Tradisjonelle byggematerialer/konstruksjoner	Refererer til byggematerialer og konstruksjoner utført med stål og betong.
Tredriver	En tredriver er del av et nettverk av regionale pådrivere for innovativ trebruk, i regi av Innovasjon Norge.
UE	Underentreprenør.
Økonomisk styrt prosjektering	Begrep som innebærer at arkitekten og de prosjekterende har økonomisk forståelse, slik at fordyrende løsninger unngås.



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon for oppgaven

Måløy undersøkte i sin prosjektoppgave fra 2019 forskjeller i pris og klimagassavtrykk mellom bæresystemer i lim- og krysslimt tre (KL-tre) mot de tradisjonelle byggematerialene stål og betong. Funnene indikerte at lim- og KL-tre generelt sett ga tilsvarende eller fordyrende prosjekter, men hadde vesentlig lavere klimautslipp sammenliknet med stål og betong. Det ble også funnet at bygging i tre ikke er kostnadseffektivt eksplisitt som et klimatiltak, gitt at det fordyrer prosjektet. Dette kan begrunnes med at kostnaden per tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalent ligger langt over sammenlignbare klimatiltak ved kun en marginal prisøkning i byggeprosjektets total kostnad. Forutsatt at KL-trebygg koster det samme som stål- og betongbygg er det et glimrende klimatiltak.

Bygging i lim- og KL-tre ble oppfattet til å bli mer konkurransedyktig på pris i nær fremtid, gjennom økt erfaring og kompetanse. Arbeidet som ble nedlagt ga grobunn til oppgaven, og motivasjon til å undersøke bidrag som kan øke bruken av tre i konstruksjoner. Sammen ønsket Måløy og Vengen å endre fokuset fra å sammenlikne konstruksjoner i lim- og KL-tre mot betong og stål, til å undersøke hvordan praksisen for bygging med bærekonstruksjoner i tre kunne gjøres mer effektivt og lønnsom for interessentene i prosjektet.

Da de innledende arbeidene til denne masteroppgaven startet hadde forfatterne en forestilling om at *Lean Construction*-prinsipper og byggverk i lim- og KL-tre hadde flere fellestrekk, blant annet gjennom prinsipper som prefabrikasjon og repeterbarhet. Sardén studerte temaet i 2005, og konkluderte med at fremtidige byggeprosjekter i KL-tre burde gjennomføres med en *Lean Construction*-tilnærming, og at prosjektlederen burde øke sitt fokus på verdi for kunden og flyt i produksjonsfasen. Konferansen «World Conference on Timber Engineering» (WCTE) har de senere årene vært plattform for presentasjon av den seneste utviklingen innenfor trekonstruksjoner. Her har flere studier på prosjekttilnærming ved bruk av blant annet *Lean Construction*-prinsipper og prefabrikering konkludert med at det gir en fordelaktig effekt for prosjektet (le Roux et. al. 2016; Santana-Sosa & Riola-Parada, 2018).

## 1.2 Hovedmål for oppgaven

Denne oppgaven har som mål å komme med anbefalinger til hvordan prosjekter i lim- og KL-tre kan gjennomføres på en mer produktiv måte, for å øke konkurransedyktigheten mot tradisjonelle byggematerialer. Derfor har følgende problemstilling blitt formulert:

*Hva må til for at bygging med bæresystem i limtre og krysslimt tre blir mer attraktivt for byggprosjektets interessenter?*

For å kunne undersøke problemstillingen helhetlig har forfatterne utformet tre forskningsspørsmål. Det første spørsmålet skal bidra til å kartlegge dagens markedssituasjon, fordeler og begrensinger til tre som konstruksjonsmateriale, samt hvordan valget av tre som konstruksjonsmateriale påvirker totaløkonomien. Det andre spørsmålet skal samle erfaringer i bransjen som regnes som suksessfaktorer for et vellykket prosjekt. Det tredje spørsmålet skal bidra til å kartlegge hva som kan skape flyt og produktivitet, avdekke ikke-verdiskapende elementer og hvordan erfaringer blir overført. Spørsmålene vil ikke besvares direkte, men som en integrert del av hovedsspørsmålet. Forfatterne har formulert følgende forskningsspørsmål:

- Hvilke drivere og barrierer har utslag på byggeprosjektene totaløkonomi?
- Hva bør prioriteres for å få gi et best mulig utgangspunkt for et vellykket byggeprosjekt?
- Hvordan vil byggeprosjektene produktivitet og lønnsomhet påvirkes ved bruk av *Lean Construction*?

### 1.3 Avgrensninger

Denne oppgaven fokuserer på bruk av KL-tre og limtre som bærekonstruksjon i nybygg, samt markedssituasjon og gjeldende praksis for denne typen konstruksjoner i Norge. Byggverk bestående av nevnte treprodukter omtales gjentakende av bransjen som «massivtrebygg». Forfatterne velger å presisere at slike massivtrebygg, som regel inneholder både KL-tre og limtre. Videre er det sett på hvordan enkelte prosesser rundt byggeprosjekt av denne typen kan gi mer verdi for interessentene. Masteroppgaven har ikke som formål å gå i dybden på bygnings- eller konstruksjonstekniske detaljer, men de vil nevnes der det finnes naturlig for oppgaven. Informantene representerer mange forskjellige roller i et byggeprosjekt. Dette gjøres for å få et helhetlig bilde av resultatene. Hos produsentene fokuseres det hovedsakelig på momenter som har en direkte innvirkning på byggeprosjekter. Tekniske fag er ikke representert med informanter.

Selv om økonomi er en viktig del av denne masteroppgaven blir det tatt vurderinger og gitt anbefalinger på et overordnet nivå, uten grundige økonomiske analyser eller tallfestede eksempler. Dette er en vurdering gjort av forfatterne både for å avgrense oppgaven, og fordi resultatene av slike analyser er veldig avhengige av forutsetningene som forfatterne setter. Etersom masteroppgaven tar for seg flere ulike aktører med forskjellige interesser fra et byggeprosjekt, ønsker forfatterne å belyse ulike sider ved praksisen med tre i bærekonstruksjonen til nybygg.

Samtlige intervjuobjekter som har blitt invitert til å dele av sin erfaring og kunnskap har blitt selektert etter at forfatterne har kommet over navn fra relevante artikler på nettet, pågående prosjekter eller for sin kredibilitet i fagmiljøet. Det er utelukkende informanter som har erfaring med limtre og KL-tre som har bidratt som informanter.

Forfatterne ble invitert til å besøke produksjonslokalene til Moelven Limtre AS og Splitkon AS i forbindelse med intervjuer og omvisning. På grunn av restriksjoner i forbindelse med COVID-19 fikk ikke forfatterne besøkt Splitkons fabrikk, som planlagt. I tillegg var planen å delta som observatør i flere prosjekteringsmøter, men det ble ikke gjennomført på grunn av koronavirus-relaterte restriksjoner.

## 1.4 Kritisk refleksjon

Enkelte intervjuobjekter i denne masteroppgaven har roller og stillinger som kan gjøre at de ønsker å promotere tre som konstruksjonsmateriale. Det har vist seg at informanter med kunnskap og erfaring gjerne har egeninteresser av å sette bygging med limtre eller KL-tre i et godt lys. Dette kan ha innvirkning på hvordan informantene svarer på intervjuene. Det vurderes likevel slik at erfaringen som deles av informantene i denne oppgaven har reliabilitet og validitet.

Intervjudata som har blitt samlet inn i forbindelse med intervjuene ble transkribert ordrett fra lydopptak, og sendt til alle informantene for gjennomgang. Deretter har informasjonen som ble ansett som mest relevant trukket ut og omskrevet av forfatterne. Dette kan gjøre at viktig informasjon har blitt vurdert bort eller at budskap har blitt feiltolket. Enkelte av intervjuobjektene har i tillegg gått igjennom forfatternes bearbeidede gjengivelse av intervjuene, men dette gjelder ikke alle. Hvor grundig informantene har gått igjennom intervjuguiden i forkant, og gitt tilbakemelding på forfatternes bearbeiding av intervjuetdataen i ettertid, varierte. På den måten kan variasjonen i oppførsel fra intervjuobjektene hatt innvirkning på informasjonsinnhenting.

En annen feilkilde i datainnsamlingen kan være forfatternes uerfarenhet i en intervjusammenheng, og følgelig at lærdom og spørsmålskvalitet har utviklet seg gjennom prosessen. Både intervjuguiden og oppgaven har endret seg noe underveis, ettersom informasjonen fra intervjuobjektene ga en pekepinn på hva som var viktig å fokusere på. I tillegg var spørsmålene ikke kategorisert inn under de temaene på samme måte som de er i resultat-delen av denne masteroppgaven. Å starte med generelle tema og utvikle spørsmålene i intervjuguiden ut ifra disse kunne vært en bedre arbeidsmetode, men det forutsetter at forfatterne har god nok oversikt og grunnleggende informasjon om tema.

Informantenes ønske om å prate om enkeltprosjekt og ikke generaliserbar informasjon var en utfordring for forfatterne. I tillegg snakket intervjuobjektene ofte om tema som var utenfor det forfatterne ønsket svar på, noe som igjen førte til at det kunne bli dårlig tid etterhvert som intervjuet nærmet seg slutten. Sett i ettertid kunne forfatterne brukt mer strukturerte intervju og bedt informantene være kortere og mer saklige i svarene sine. Forfatterne kunne også tydeligere presisert at generaliserbar og konsis informasjon var å foretrekke. Bruk av spørreundersøkelse som verktøy til informasjonsinnhenting ble aldri grundig vurdert av forfatterne, men kunne det ha vært nyttig for å få konkrete svar. Det var også variasjoner i hvor mye erfaring informantene hadde med bygging i tre, men resultatene fra de forskjellige informantene er det i utgangspunktet lagt like mye vekt på.



## 2 Metode

Det er viktig for en vitenskapelig tekst å beskrive metoden som er brukt for å frembringe resultatene i teksten. Valget av metoder setter forutsetninger for gjennomføringen, og er betydningsfull da alle metoder innehar styrker og begrensninger. Ved å velge metoder som ikke passer for tematikken kan resultatene bli mindre troverdige. Dette kapitlet har som mål å vise hvordan valg av forskningsdesign og metode har vært egnet til å besvare problemstillingen og tilhørende forskningsspørsmål.

### 2.1 Forskningsdesign

Forfatterne ønsket å høste erfaringer fra bransjen hos aktører med kompetanse. Forskningsdesignet som har blitt brukt til å utføre dette, med tilhørende metoder, vil i det understående bli presentert hver for seg. Styrker og begrensninger til hver av metodene vil sammenstilles i en tabell. Avslutningsvis vil kriterier for å validere funn presenteres stikkordsmessig.

#### 2.1.1 Innsamling og bearbeidelse av data

Ettersom empirisk kvalitativ forskning er preget av betydelig følsomhet overfor konteksten den gjennomføres i (Tjora, 2010), er det lagt vekt på grundig forarbeid før og under gjennomføringen.

For å skape større validitet i resultatene har forfatterne benyttet flere typer kilder. Dette kalles for triangulering, og betyr å benytte flere metoder for å samle og analysere data til en gitt problemstilling (Flick, Kardoff & Ines, 2004). Det har derfor blitt gjennomført følgende informasjonsinnhenting:

- Litteraturstudie på temaene KL-tre, limtre, *Lean Construction* og byggeprosess
- Befaring av Veidekke sin byggeplass for prosjektet ZEB Lab på Gløshaugen
- Omvisning på Moelven Limtre AS sine produksjonslokaler på Moelv
- Observasjon av prosjekteringsmøter hos HENT i Trondheim
- Semistrukturerte intervjuer med aktører i bransjen som har erfaring fra lim- og KL-treprosjekter, samt eksperter på temaet.

## 2.2 Litteraturstudie

I dette delkapittelet gjennomgås hvordan søk og evaluering av litteratur har blitt gjennomført. Gode vurderingskriterier og søketeknikker er viktige for å oppnå et tilfredsstillende og etterprøvbart resultat. Litteraturen er hovedsakelig funnet igjennom strukturerte søk i akademiske databaser, men det har også blitt anvendt andre teknikker. Litteraturen skulle berike forfatterens kunnskap om bruken av KL-tre, limtre, *Lean Construction* og byggeprosess. I det følgende vil metoden for det systematiske litteratursøket gjennomgås slik det har blitt utført.

### 2.2.1 Søkemetodikk

Rammeverket for litteraturstudiet har feste i Arksey og O'Malleys' «Scoping studies: towards a methodological framework» fra 2005. I det understående, presenteres en stegvis modell som kandidatene har fulgt for å gjøre et rekkeviddesøk (Scoping study). Målet var å kartlegge tilgjengelig litteratur, hovedkilder og konsepter på en effektiv måte.

1. Identifisere problemstilling
2. Identifisere relevant litteratur
3. Utvelgelse av litteratur
4. Kartlegge funn fra litteraturen
5. Samle, oppsummere og rapportere resultatene
6. Høring/Validering (Valgfri)

Gjennom identifisering av den relevante litteraturen har det blitt valgt å dele søkemetoden i to deler. Dette ble gjort fordi oppgaven benyttet seg av både akademiske databaser med strukturerte søk, og litteratur funnet i ikke-akademiske databaser som datablader eller tips fra informanter eller veiledere. De to databasesøkene er beskrevet hver for seg i underkapitlene *Akademiske databaser* og *Ikke-akademiske databaser*. I tillegg er det benyttet «Citation chaining» til å finne relevante kilder, og blir forklart i det følgende.

### 2.2.2 Citation Chaining

Citation chaining er en metode der litteratur har blitt identifisert gjennom deres referanser (UWF, 2019). De skilles mellom «Backward and forward citation chaining», og begge metoder har blitt benyttet i dette studiet. Metoden er også kjent som «Backward and forward snowballing» (Wohlin, 2014). Backward citation chaining metoden tar for seg referanselisten til relevant litteratur. Her kan grunnlaget til kilden identifiseres, og følgelig bli inkludert som egne kilder. Forward citation chaining bygger på hvem som har

sitert den aktuelle kilden. Dette vil være nyere litteratur, og potensielt nye funn relatert til temaet. Denne metoden er benyttet i de akademiske databasene.

### 2.2.3 Akademiske databaser

De akademiske databasene Oria, Google Scholar, Web of Science, ASCE, Scopus og Science Direct er benyttet. Disse ble kjent etter anbefaling fra stipendiat ved instituttet. Metodikken har vært strukturert ved å benytte de samme søkeordene i de ulike databasene. De boolske operatorene «AND» og «OR» ble benyttet for å få treff som inneholdt flere av søkeordene. Det har ikke blitt satt en entydig tidsavgrensing på søket, men det er forsøkt i stor grad å benytte den nyeste litteraturen på feltet. Søkeordene som ble benyttet i den innledende litteraturstudien er vist i *Tabell 1*.

**Tabell 1 - Søkemetodikk i akademiske databaser**

Primært søkeord	Boolsk operator	Støttende søkeord
CLT	AND	Lean Construction Architecture Assembly Production Market Large timber buildings
Glulam	AND	CLT
Limtre	AND	Massivtre
Massivtre	AND	Montasje Brann Fukt Lyd
	OR	KL-tre
Lean Construction	AND	Takt Last Planner System Timber
Byggeprosessen	AND	Faser

### 2.2.4 Ikke-akademiske databaser

Det ble tidlig klart at datablader kunne være fordelaktig for oppgaven. Her ble det ikke gjort en streng tidsavgrensing, fordi flere av databladene som ligger ute er den gjeldende anbefalingen til bransjen. Det er i større grad brukt en klikkbasert søkemetodikk med målrettede søk etter standarder eller datablader.

### 2.2.5 Vurdering av kilden

Ved funn av potensielt relevant litteratur, ble kildene ført i et dokument der konteksten og innholdet ble ført stikkordsmessig. Herfra ble kredibiliteten og egnethet vurdert etter prinsippene i akronymet TONE, i et forsøk på å tilstrebe akademisk redelighet.

#### TONE-prinsippet

Samtlige kilder har blitt vurdert etter TONE-prinsippet. Dette innebærer at kildene bedømmes ut fra kriteriene Troverdighet (T), Objektivitet (O), Nøyaktighet (N) og Egnethet (E). Dersom kilden samsvarer med punktene etter en kritisk gjennomgang, står den tryggere som en sikker kilde (Oslomet, 2020).

- *Troverligheten*, sier noe om sikkerheten til kilden. For å vurdere dette har følgende parametere blitt gjennomgått, der det har blitt funnet hensiktsmessig: Forfatterens, kompetanse, forlags og institusjoners kredibilitet, siteringer, i10- og h-index (Nigam A, Nigam PK., 2012), og fagfellevurderinger. Det er verdt å nevne at en kilde med mange siteringer nødvendigvis ikke er en indikasjon på kvalitet. Det kan også bety at den har gale slutninger, er radikal eller strider mot annen forskning.
- *Objektiviteten*, sier noe om nøytraliteten til kilden. For å vurdere dette har blant annet budskap, hensikten til forfatter, bidragsyttere og om innholdet er kjent fra før blitt vurdert.
- *Nøyaktigheten*, sier noe om forskningen som ligger bak kilden, struktur og aktualitet. Her er det blitt vurdert oppsett (IMRaD struktur), kildehenvisning, språk, oppdateringer og kontaktinformasjon.
- *Egnetheten*, er en evaluering av om kilden passer formålet. Her er innhold, vinkling, detaljer og målgruppe vurdert.

## 2.3 Befaring og omvisning

### Besøk på byggeplass

Forfatterne fikk mulighet til å gå befaring på ZEB Laboratoriet på Gløshaugen. Dette skulle være med på å gi forfatter en økt forståelse av temaet som studeres, og gi et fysisk inntrykk. Befaringen skulle også styrke mulighetene og evnene til å forstå problemstillinger som informantene fremla i intervjuene.

## **Besøk på produksjonslokalene til Moelven Limtre AS.**

I forbindelse med intervjuer av sentrale personer i Moelven Limtre AS i Moelv, ble forfatterne i etterkant av gjennomførte intervjuer vist rundt i produksjonslokalene. Omvisningen skulle øke forståelsen av produksjonslinjen, prefabrikasjon og gi et tydeligere underlag for resultattolkning av intervju svarene.

## **2.4 Semistrukturerte intervjuer**

Da oppgaven søker svar gjennom å høste erfaringer og råd fra bransjen, ble det sett på som en naturlig følge at informasjonsinnhenting gjennom intervjuer kunne belyse problemstillingen. Samtlige intervjuobjekter, deres stilling og relevans for oppgaven, er beskrevet innledningsvis i resultatdelen. Arbeidet med å samle relevante intervjuobjekter har vært et vesentlig fokus for å oppnå resultater. Semistrukturerte intervjuer kan være en god metode for å studere meninger, holdninger og erfaringer (Tjora, 2010). Et slikt intervju fremmer utelukkende informantens subjektive mening. Dette anså intervjuerne som nyttig, da partenes ulike synspunkter og meninger kunne bidra til å skape diskusjon, avdekke hull, eller bekrefte litteraturen. De aktuelle intervjuobjektene representerer ulike interesser, og derfor må validiteten til svarene ses på med kritiske øyne.

### **2.4.1 Gjennomføring av intervjuer**

I intervjuguiden ble det besluttet å bruke relativt åpne spørsmål, for å gi informantene mulighet til å gå i dybden på temaer der de hadde mye å fortelle. Dette skulle kunne åpne for digresjoner, som kunne føre til fordelaktige og nye vinklinger som intervjuerne nødvendigvis ikke hadde tenkt på, på forhånd (Tjora, 2010). Intervjuer ble gjort i person, men også med video-tjenester som Microsoft Teams, Skype og Google Hangouts der det fantes nødvendig. Intervjuenes varighet var på omlag 1 time. Det ble satt av god tid til en vid introduksjon til tematikken, da det kunne føre til at informanten tydeligere forstår hva intervjuerne ønsket svar på. I tillegg kunne informanten få tid til å betrakte forskernes posisjon, og hvem forskerne representerte. Dette kunne ha innvirkning på hvordan intervjuobjektet formidler informasjon (Tjora, 2010). I etterkant av innledningen, var intervju spørsmålene laget så korte og konsise som mulig. Dette kunne virke positivt ved at informanten tydeligere kunne forstå konteksten og hva intervjuerne ønsket svar på (Dalland, 2013). Forfatterens posisjon kunne skape rammer for kommunikasjonen rundt intervjuet. Dette være seg alder, posisjon som student eller intensjonen bak intervjuet. På bakgrunn av dette, valgte intervjuerne å presisere for informantene at noen av spørsmålene kunne virke enkle og selvfølgelig (Tjora, 2010). Å ta vare på samtalen gjennom lyd, ble ansett som den mest gunstige måten å ta vare på samtalen på (Dalland, 2013). Intervjuene ble i etterkant skrevet ord-for-ord etter gjengivelse fra taleopptaket (transkribert). Den rene tekstgjengivelsen ble tilsendt alle intervjuobjektene der de fikk mulighet til å

korrigere eventuelle misforståelser eller supplere informasjon. Senere ble svar fra informantene bearbeidet til en parafraseringsform, kategorisert etter tema og sammenstilt som vist i *Kapittel 4 - Resultater*. Resultatenes sensitivitet for ulike metodiske valg er derfor tatt høyde for i stor grad. Intervjumalen som ble benyttet finnes som *Vedlegg 1 - Intervjuguide*.

#### 2.4.2 Observasjon

Observasjonsstudier handler i stor grad om å studere det folk gjør. Observasjonsrollen forfatterne valgte å ta i denne studien betegner Raymond Gold (1958) som «deltakende observatør», og det finnes ulike grader av deltakelse. I dette ligger det at forfatterne forholder seg passive, men synlige for de observerte (Tjora, 2013). Således kan observasjonen i denne studien betraktes som en *passiv interaktiv observasjon*, der forfatterne har forholdt seg statiske i en flue-på-veggen-rolle i prosjekteringsmøter. Observatørene tilstrebe å opptre mottakelig og med et åpent sinn for å mota informasjon. Feltnotater er ansett som en svært viktig forutsetning for god analyse (Denzin, 1994), og er derfor prioritert i denne forskningen. Feltnotater fra observasjonene ble samlet parallelt av begge forfatterne på separat vis, slik at dekingen skulle oppleves tilstrekkelig og minimere påvirkning fra hverandre. Observasjonene er skrevet i korte trekk, der hendelser forfatterne fant interessante er tidfestet. Dette er fremstilt i *Vedlegg 2 - Observasjonsnotater* på slutten av oppgaven.

#### 2.5 Styrker og begrensninger ved valgt metode

Dette delkapittelet presenteres i *Tabell 2 - Styrker og begrensninger til ulike metoder*, og beskriver avveininger som forfatterne har regnet som viktige for å etterstrebe etisk forskning.

**Tabell 2 - Styrker og begrensninger til ulike metoder**

Litteratursøk	
Styrker	Begrensninger
Fordeler ved å utføre en litteraturstudie kan blant annet være å danne seg et teoretisk perspektiv og grunnmur innenfor et tema, slik at forskningsvirksomheten er kumulativ (Dalland, 2013). I tillegg kan allerede eksisterende funn identifiseres, og følgelig utelatelser eller uriktigheter potensielt avdekkes (Grant & Booth, 2009). Litteraturen som studieobjekt påvirkes	Svakheter ved valg av denne metoden kan blant annet være at valg av søkeord må være svært godt definert. De samme søkeordene er brukt i samtlige akademiske databaser og har følgelig fått flere av de samme treffene. I tillegg har det vært et fokus på å unngå såkalt «cherry-picking», som går ut på at forfatteren plukker ut de faktaene som støtter en bestemt oppfatning eller

<p>heller ikke i ettetid. Litteraturstudie kan bidra til bevisstgjøring rundt egen forskning, og kan samtidig kan forskeren tilegne seg kunnskap fordi utvalget er stort.</p>	<p>hypotese (Morse, 2010). Dette gjeler også forfattere av den innhentede litteraturen, da deres forskning, foretrukne hypoteser og verdenssyn kan bidra til et uriktig bilde på slutningene som trekkes (Grant &amp; Booth, 2009).</p>
<p><b>Semistrukturerte intervjuer</b></p>	
<p><b>Styrker</b></p>	<p><b>Begrensninger</b></p>
<p>Semistrukturerte intervjuer kan være en god metode for å studere meninger, holdninger og erfaringer. Åpne spørsmål åpner for digresjoner, som kan føre til fordelaktige og nye vinklinger som intervjuer nødvendigvis ikke hadde tenkt på forhånd (Tjora, 2010). Intervjumetoden er fleksibel, og er dermed i stand til å avsløre viktige deler av det menneskelige og organisatoriske (Kvale &amp; Brinkmann, 2009). Semistrukturerte intervjuer egner seg spesielt der en ønsker flere personers synspunkter, og som følgelig kan åpne nye dører eller innsikt. Seleksjonen av informanter gjør det mulig å tilegne seg spisset informasjon, samt interne og eksterne synspunkt. (Qu &amp; Dumay, 2011)</p>	<p>Da intervjuer har mange faktorer som spiller inn samtidig, kan begrensninger være at dyrebar informasjon som kroppsspråk, tone, ironi mm. bortfaller. I tillegg kan forhold som at forfatter har liten erfaring med å utføre intervjuer være med på å begrense resultatene. (Tjora, 2010). Svarene informantene har gitt blir fordelt og ryddet opp i. Deretter veies de mot hverandre, og i denne prosessen kan utsagn eller kontekst bli feiltolket. (Dalland, 2013).</p>
<p><b>Observasjoner</b></p>	
<p><b>Styrker</b></p>	<p><b>Begrensninger</b></p>
<p>Observasjonsstudier er regnet som nyttig i situasjoner der selve arbeidet som blir utført som var av interesse. Samtidig gir det god tilgang til sosiale situasjoner som de involverte i situasjonen ikke selv først har tolket. I tillegg er observasjon sett fra et pragmatisk perspektiv, en lite forstyrrende og kostnadseffektiv måte å hente data på, da de som blir observert kan utføre sine vante oppgaver uten avbrudd. (Tjora, 2013)</p>	<p>Det kan være vanskelig å ha en distansert rolle på grunn av personlig engasjement. Forskerens notater risikerer også å bli farget av sin bevissthet, forståelse og tolkning. I tillegg kan de observerte endre adferd fordi de blir observert. (Tjora, 2013)</p>



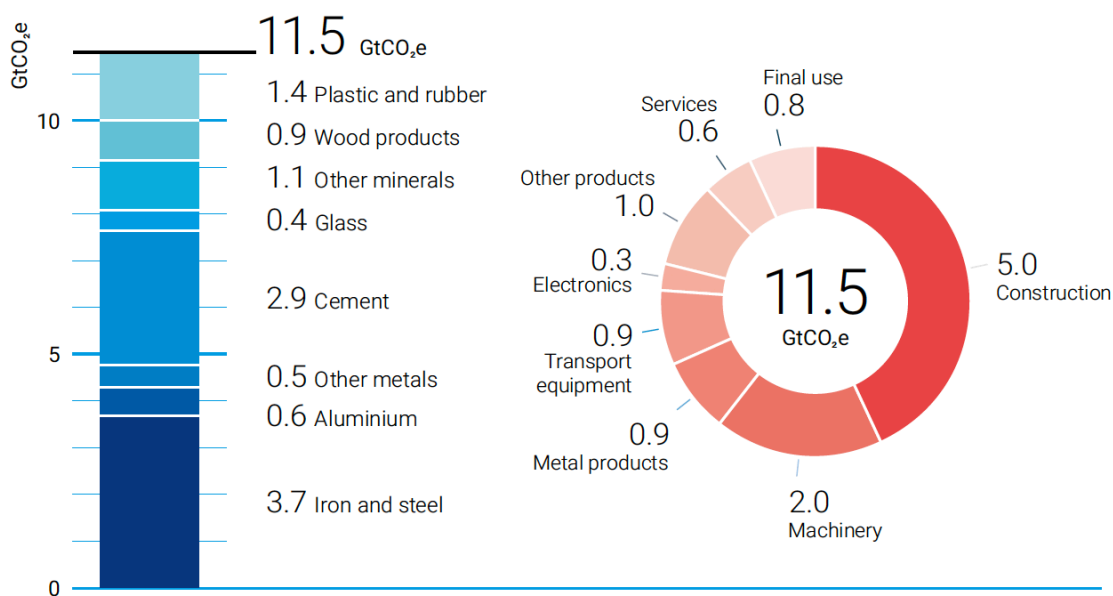


# 3 Teori

## 3.1 Dagens klimasituasjon

I Paris, desember 2015, ble FNs medlemsland enige om vilkårene i en klimaavtale som ble kjent som Parisavtalen. Hovedmålet med Parisavtalen var å begrense jordens temperaturstigning til godt under 2°C i dette århundret, og arbeide for å begrense oppvarmingen til å stige med mer enn 1,5°C (Doyle, 2019). Det antas at menneskelig aktivitet allerede har økt klodens temperatur med mellom 0,8-1,2°C (Masson-Delmotte, V. et. al., 2018).

FNs *Emissions Gap Report* fra november i 2019 hevder at klimagassutslippene har fortsatt å øke nesten kontinuerlig det siste århundret, og at i 2018 var det et rekordhøyt totalt klimagassutslipp på 55,3 GtCO<sub>2</sub>e globalt, og slik ting ligger an i dag er det høyst usannsynlig at toppen er nådd. Klimagassutslippene kommer sannsynligvis til å øke i årene fremover også, noe som vil si at større og kraftigere klimatiltak må iverksettes om målene fra Parisavtalen skal nås. Innen 2030 må klimautslippene reduseres med 15 GtCO<sub>2</sub>e for å nå 2°C-målet, og 32 GtCO<sub>2</sub>e for å nå 1,5°C-målet. Med andre ord må dagens klimagassutslipp reduseres betydelig, for å unngå store klimaforandringer. (UN Environment Programme, 2019).



Figur 1 - Totalt klimagassutslipp fra materialproduksjon (t.v) og anvendelse av materialer i påfølgende produksjon eller sluttforbruk (t.h) 2015. Hentet fra (Hertwich et. al., 2019)

Byggeindustriens største bidrag til klimagassutslippene kommer fra produksjon og bruk av byggematerialer. Av de 11.5 GtCO<sub>2</sub>e som ble forbundet med materiellproduksjon i 2015 står byggenæringen alene for 5 GtCO<sub>2</sub>e (se *Figur 1*). Byggenæringens totale klimagassutslipp ble estimert til 7 GtCO<sub>2</sub>e i 2015, og dermed var det største potensialet for forbedring knyttet til produksjon og bruk av byggematerialer. (UN Environment Programme 2019)

## **3.2 Tre som et historisk byggemateriale**

Tre er et av de eldste kjente byggematerialene vi har, og opp gjennom historien har det vært det konvensjonelle byggematerialet i Norge (Issa & Kmeid, 2005; Kittang, Narvestad & Nyrud, 2011). Grunnene til dette er blant annet trevirkets tilgjengelighet, enkel produksjon, miljøkompatibilitet, letthet og styrke. Følgelig har kunnskap om bearbeiding og anvendelse fått utfolde seg og gjort at tre har vært et foretrukket materiale i lettere bygg (Edwardsen & Ramstad, 2014; Issa & Kmeid, 2005). Blant de eldste og mest anerkjente trekonstruksjonene vi har i Norge er skip og bygninger fra vikingetiden og stavkirker fra middelalderen. Noen av disse konstruksjonene er stående eksempler på solide konstruksjoner, i tillegg til at trebyer som Trondheim, Stavanger og Bergen vitner om en utbredt og felles byggemåte (Kittang, Narvestad & Nyrud, 2011).

## **3.3 Tre som byggemateriale i dagens byggerier**

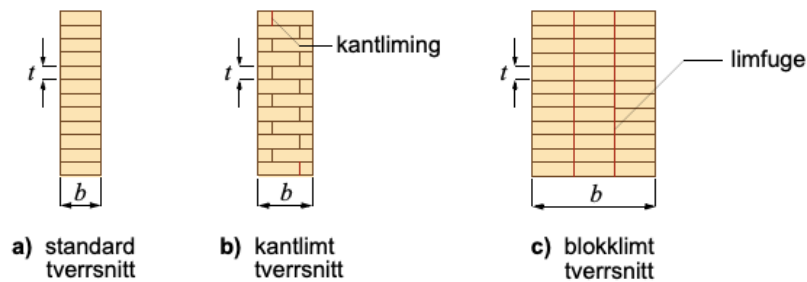
I 2020 har klimaendringer og befolkningsvekst, sammen med teknologiske fremskritt ført til at betong og stål har fått en utfordrer i moderne høye bygg. Konkurrenten er et av få fornybare byggematerialer vi har, nemlig bæresystemer i tre. (Issa & Kmeid, 2005; Green & Taggart, 2017). I dagligtalen benyttes begrepet trekonstruksjoner løst om blant annet bindingsverksvegger, heltre, limtre, og massivtre. I denne masterstudien vil det være bærende konstruksjoner i limtre og krysslimt tre som danner grunnlaget for oppgaven. Lettvegger og større bindingsverksvegger blir derfor bare omtalt der det finnes nødvendig. I det følgende vil limtre og KL-tre bli beskrevet hver for seg. Deretter vil det beskrives hvordan limtre og KL-tre opererer sammen, og i kombinasjon med andre materialer.

### **3.3.1 Limtre**

Limtre er definert i NS-EN 14080:2013 på engelsk, og forfatterne støtter seg på Norske Limtreprodusenters Forening (2015) sin oversettelse og utdypet: «Limtre defineres som 2 eller flere lameller med tykkelse fra 6 til 45 mm som limes sammen; en lamell i denne sammenheng kan være ett (standard tverrsnitt) eller to (kantlimt tverrsnitt) bord». Limtreets bruksområde er primært i bjelker og søyler, forsterkninger over

åpninger i bærevegg eller som delstaver i fagverkskonstruksjoner. Etersom limtre er formbart benyttes det også som buer. (Norske limtreprodusenters forening, 2015; Trefokus, 2019)

Lamellene presslimes sammen parallelt med retningen til fibrene i treet. Av praktiske og estetiske grunner høvles alle 4 sider, og mengden beror på overflatekvaliteten som er forespurt av kunden. Der tverrsnittet må økes på grunn av høye laster, limes elementene sammen til blokklimte tverrsnitt. Se understående *Figur 2* utarbeidet av Norske limtreprodusenters forening (2018).

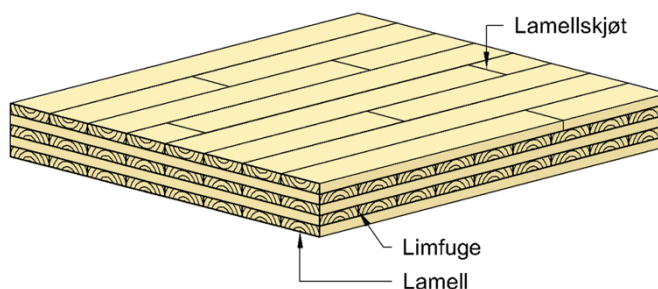


**Figur 2 - Tverrsnitt i limtre (Norske limtreprodusenters forening, 2018)**

Videre skilles det mellom homogent og kombinert limtre. Det homogene limtreet settes sammen av lameller med lik styrke kvalitet. Kombinerte tverrsnitt benytter økt kvalitet i de ytterste lamellene. Dette gjøres slik at produsentene kan oppnå høy fasthet på produktet, samtidig som kostnadene holdes nede. Limtre kom på markedet i Russland og Tyskland på slutten av 1800-tallet, og fikk økt etterspørsel som et resultat av stålmangel under andre verdenskrig (Trefokus, 2019). I 1959 ble Norges første limtrefabrikk A/S Laminator etablert, og i 1962 ble Norsk Limtrekontroll formelt stiftet (Moelven, 2019; Trefokus, 2019). Norsk limtre produseres i dag primært av gran og furu. Limtreproduktene kan variere på blant annet utforming, pris, brannegenskaper, konstruksjonsstyrke, utseendekrav og impregneringsbehov (Norske limtreprodusenters forening, 2015)

### 3.3.2 KL-tre (massivtre)

Massivtre er lameller som er sammenføydt til større elementer ved å benytte spiker, skruer, dybler, lim eller strekkstag. Begrepet «massivtre» er en samlebetegnelse på hulroms-, kantstilt- og krysslimte elementer (SINTEF Byggforsk, 2009). Denne oppgaven beskriver og omfatter bruken av *krysslimt tre*, da dette stort sett er det allmenheten forbinder med massivtre, og det som benyttes i størst grad i Norge. Internasjonalt er krysslimt tre (KL-tre) kjent som Cross Laminated Timber (CLT).



**Figur 3 - Eksempel på KL-trelement med 5 sjikt. (Edvardsen & Ramstad, 2014)**

KL-trelementer er satt sammen av lameller som legges side om side, for deretter å limes vinkelrett på et underliggende lamell-lag (Brandner et. al., 2016), slik *Figur 3* viser. Et element består gjerne av 3,5,7 eller 9 slike lamellsjikt, og størrelsen på elementene varierer fra produsent til produsent. Elementene kan på grunn av sin limte struktur, oppta laster inn og ut av planet, da trefibrene får opptre i flere retninger. Tykkelsen til elementene gjør også at det er allsidig og anvendelig som et frittstående strukturelement (Brandner et. al., 2016). Elementene kan benyttes som bærende konstruksjonselementer til etasjeskillere, vegger og tak i klimaklasse 1 og 2, innendørs og under tak. (SINTEF Byggforsk, 2001; SINTEF Certification, 2019).

### 3.3.3 Samvirkekonstruksjoner

I dag er *samvirkekonstruksjoner* vanlig for å utnytte materialenes gunstige egenskaper. Samvirkekonstruksjoner er konstruksjoner der ulike materialer virker sammen for å oppnå et ønsket resultat. Dette betyr som oftest å kombinere byggverk i tre, stål og betong der det finnes rasjonelt. I dagligtalen omtales ofte bygg med en vesentlig del KL-tre som «massivtrebygg», men KL-tre opptrer sjeldent alene. Limtre er strukturelt sterkere enn KL-tre, og blir brukt til å forsterke i forskjellige soner, som i overkant av foldevegger eller som søyler og bjelker i høyere konstruksjoner. I mange tilfeller vil strenge krav til lydisolasjon føre til at etasjeskillere i betonglag er det foretrukne materialet (Edvardsen & Ramstad, 2014). Et eksempel på en samvirkekonstruksjon er vist i *Figur 4*, som vist i *Kapittel 3.4.2 - Brann og lyd*.

### 3.4 KL-tre- og limtrebyggs egenskaper

Dette kapittelet inneholder drivere og barrierer som kommer frem i litteraturen når det kommer til å benytte seg av bæresystemer i limtre og KL-tre. I hvor stor grad forskjellige interessenter er enige i driverne og barrierene som blir nevnt er både person- og prosjektavhengig. Hvert prosjekt og hver interessent bør ideelt sett analyseres individuelt, men de følgende momentene er punkter som forfatterne mener er noen av de som blir hyppigst nevnt i forbindelse med denne typen bygg.

#### 3.4.1 Klimagassutslipp

Redusert klimagassutslipp kan pekes på som en fordel med trebygg sett i forhold til mer tradisjonelle byggemetoder. En vanlig måte å kvantifisere klimagassutslipp er å gjøre en livsløpsanalyse. Livsløpsanalyser er en metode for å evaluere klima- og miljøpåvirkningen av materialer og prosesser. Metoden skal systematisk vurdere påvirkningen helt fra utvinningen av råmaterialer til byggematerialets livsløp er over, og kan også inkludere gjenbruk eller deponering (Khatib et. al., 2016).

Hvilke forutsetninger som nyttes i en livsløpsanalyse har svært stor innvirkning på resultatet av analysen. I en dokumentasjonsrapport av Nordby, Solli & Dahlstrøm (2015) skrevet for Asplan Viak vurderes analyseperspektiv og forutsetninger i LCA. Der vurderes følgende til å være variabler som har en betydelig innvirkning på resultatet:

- Tidshorisont for måling av klimaeffekt
- Effekten av utslipp/opptak av CO<sub>2</sub> som skjer på forskjellige tidspunkt
- Strømmiks
- Allokeringmetode
- Systemgrenser for avhending
- Antagelser knyttet til opptak av CO<sub>2</sub> i tre og betong.

I *Tabell 3*, vist på neste side, er det listet noen korte egenutviklede sammendrag fra funnene i enkelte rapporter. Klimagassutslippet fra driftsperioden er ikke inkludert.

**Tabell 3 - Funn fra ulike rapporter som sammenligner betong og tre.**

Kilde	Forfatters eget sammendrag rapportens funn
Skullestad, Bohne & Lohne (2016)	Rapporten sammenligner eksempelbygninger på 3,7,12 og 21 etasjer. Det konkluderes med at klimagassutslipp fra bruk av bæresystem i tre er betraktelig lavere sammenlignet med bæresystem i armert betong. Ved brenning i fjernvarmesystem etter materialets levetid vil bæresystem i tre kunne ha et negativt totalt klimagassutslipp. Ved et regnskapsmessig analyseperspektiv der gjenbruk av byggematerialer ikke er inkludert så vil et bæresystem i massivtre sparte mellom 29-314 kgCO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> sett i forhold til armert betong, noe som gir 34-84% lavere utslipp.
Nordby, Solli & Dahlstrøm (2015)	Ved å sammenligne bygg med samme funksjonsytelser og forutsetninger kan det sees at tre har betydelig lavere klimaavtrykk enn armert betong. Dette gjelder for alle generelle forutsetninger. For trematerialer er den viktigste faktoren for resultat av LCA forutsetninger knyttet til hva som gjøres med materialet etter endt levetid. For betong er overordnet analyseperspektiv og markedssituasjon for produksjonsmaterialene viktigst. For tre, betong og stål varierer resultatene som følger: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tre: -558 til 275 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup></li> <li>- Betong: 234 til 380 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>3</sup></li> <li>- Stål: 0,7 til 2,8 kgCO<sub>2</sub>eq/kg</li> </ul>
Tellnes et al. (2013)	En struktur i betong og stål har 35 % høyere klimaavtrykk sammenlignet med en hybridstruktur som har 50-50 med tre og betong. Uten kjerne og fundament i bygget vil en trekonstruksjon ha 15% av klimapåvirkningen sammenlignet med en konstruksjon i stål og betong.
Gustavsson et al. (2006)	Forskjellen i klimagassutslipp er mellom 30-130 kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> mellom en tre- og betongkonstruksjon, avhengig av metodiske valg. Trekonstruksjonen har lavest klimagassutslipp.
Petersen & Solberg (2002)	Produksjon av stålbjelker har 2-5 ganger høyere energiforbruk enn produksjon av limtrebjelker.
Börjesson & Gustavsson (2000)	Energiforbruket i produksjon av byggematerialer reduseres med 60-80% hvis bæresystem i trematerialer nyttes i stedet for armert betong. Totalt klimagassutslipp er 2-3 ganger høyere for betong-bæresystem.

### 3.4.2 Brann og lyd

Ettersom bruken av tre som byggemateriale i høye konstruksjoner har økt, har dette resultert i at preaksepterte brann og lydløsninger har blitt utfordret. Flere hevder det vil føre til økte kostnader i byggeprosessen for å tilfredsstille de gjeldende kravene (Structural Timber Association, 2014; Buchanan et al., 2014; Hoeller et al., 2017; Pagnoncelli & Morales, 2016). Trebruk (2020) argumenterer sterkt for å innføre avviksanalyser i hvert prosjekt, for å utfordre veiledningen der det ikke finnes preaksepterte løsninger. Dokumentasjon og erfaringer fra et prosjekt kan videreføres til neste, men hvert prosjekt er unikt, og er med på å bidra til at det tar tid å samle generaliserbare preaksepterte løsninger.

#### Brann

Teknisk forskrift (TEK17) stiller strenge krav når konstruksjoner skal oppføres. Branntekniske krav må fremsettes slik at bæreevnen og stabiliteten til byggverket besår under en forventet brannpåkjenning, slik at ikke byggverket faller sammen. Ved prosjektering av brann kan preaksepterte ytelser benyttes. Preaksepterte ytelser angir minimum av det som er nødvendig for å oppfylle forskriftens funksjonskrav. For å bestemme hvilke preaksepterte ytelser som skal legge føringer for prosjekteringen, må konsekvenser ved en brann evalueres. Dette gjøres blant annet ved å fastslå risikoklasse og høyde på bygget, for dernest å bestemme brannklasse. I understående *Tabell 4* er massivtreets egenskaper i en brannsituasjon kort sammenliknet med den preaksepterte ytelsen for en bygningsdel i brannklasse 3. (DIBK, 2017a; DIBK, 2017b; DIBK, 2017c)

**Tabell 4 - KL-treets egenskaper i en brannsituasjon, mot preaksepterte ytelser**

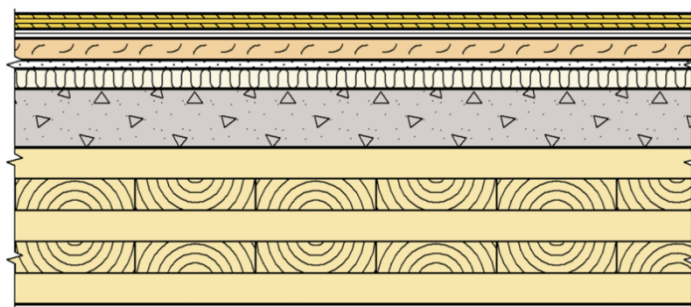
Ytelse	Euroklassifisering	Forklaring
Krysslimt ubehandlet massivtre sin ytelse i en brannsituasjon (SINTEF Certification, 2019)	D-s2,d0 (ev. D <sub>fl</sub> -s1 for etasjeskiller)	Dette betyr at det er et brennbart materiale, med begrenset røykutvikling og ingen utvikling av brennende dråper.
Preakseptert ytelseskrav for en bygningsdel i brannklasse 3.	A2-s1,d0	Dette betyr at materialet har begrenset brennbarhet, meget begrenset røykutvikling og ingen utvikling av brennende dråper.

Det eksponerte treverket sees på som en fordel av mange, på grunn av estetiske og inneklimate egenskaper. Bruk av krysslimt massivtre som bæresystem i bygninger i brannklasse 3 er ikke preaksepterte i henhold til veiledningen til TEK17, og dermed må den prosjekteres analytisk da det ikke finnes en dokumentert løsning.

Direktoratet for byggkvalitet og Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap finansierte rapporten «Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger - en litteraturstudie» (Reitan, Friquin & Mikalsen, 2019). Rapporten viser at KL-tre med utilstrekkelig beskyttelse kan medføre at brannen vokser raskere, mer intenst og har lenger varighet enn brann der det eneste brenselet er inventaret i rommet. I tillegg understrekes det utfordringene som følger med manglende dokumenterte løsninger. Et steg i riktig retning, er en revisjon av den europeiske dimensjoneringsstandard for trekonstruksjoner eksponert for brann (EN 1995-1-2), og er forventet at vil komme i løpet av 2022. I tillegg peker rapporten på at testmetoder for systemtesting av skjøter og gjennomføringer bør standardiseres. I en artikkel i forbindelse med utgivelsen av rapporten, kommenterer Vidar Stenstad ved DIBK at bransjen må endres fra å «følge minimum» og at aktører må ta eierskap og ansvar (DIBK, 2019)

## Lyd

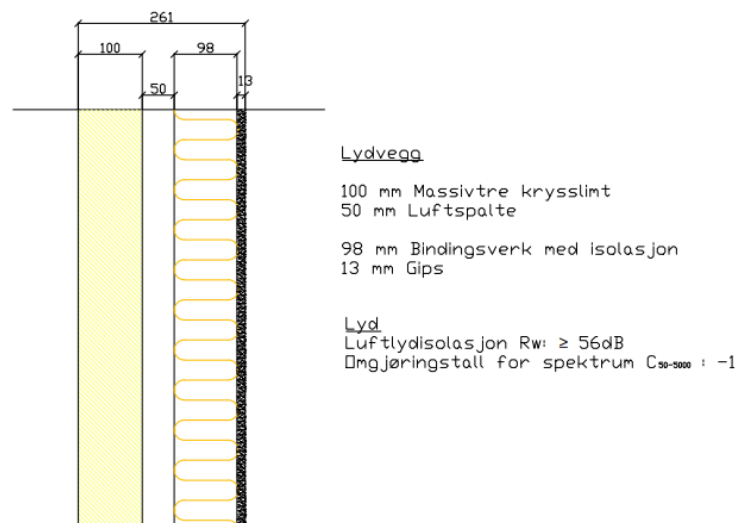
Lette byggesystemer har på generelt grunnlag dårligere lydisolasjonsmuligheter mot lavere frekvenser, og i mange tilfeller vil strenge krav til lydisolasjon føre til at etasjeskillere i betonglag er det foretrukkede materialet (Homb, 2019; Edvardsen & Ramstad, 2014). Høye trekonstruksjoner er ferskt i markedet, og prosjekteringsverktøy for lydhandtering i høye trehus finnes derfor mangelfulle av flere. De teoretiske modellene har store begrensninger når det kommer til å forutse virkningen til isolasjon i det praktiske tilfellet. Kunnskapen er heller ikke enkelt tilgjengelig i bransjen. En gulvkonstruksjon (etasjeskiller) består gjerne i et overgulv, bærekonstruksjon og en himling. Dette har ført til ulike lydøsninger, med enten nedforinger, påforinger eller en kombinasjon. Tidligere ble samvirkekonstruksjoner nevnt som en mulighet for å konstruere løsninger som oppfyller kravene. I understående *Figur 4* er det vist et KL-tredekke med påstøp av betong og vibrasjonsisolerende overgulv. (Homb, 2019; SINTEF, 2017)



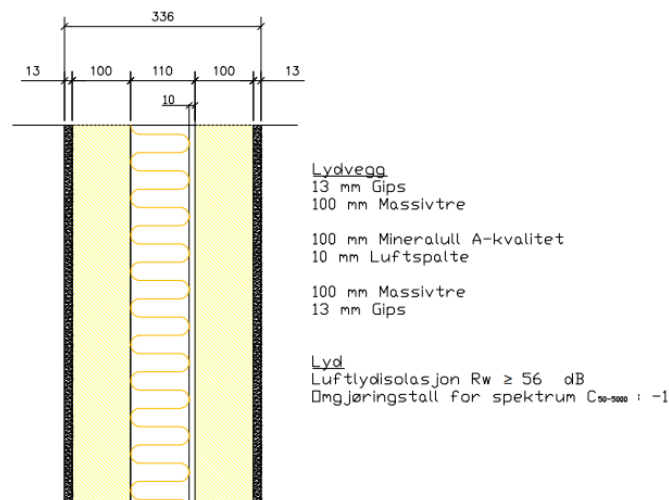
**Figur 4 - KL-tredekke med påstøp og vibrasjonsisolerende overgulv. Illustrasjon: (SINTEF, 2017)**



Trefokus (2011) har på sine sider presentert flere snittegninger av bygningsdetaljer og løsninger, og det er valgt å trekke frem to lydvegger for eksempelets skyld. Tykkelse, brannegenskaper og lydisolasjon som er fremvist er vilkårlig. Tegningene viser henholdsvis en lydvegg der én side er eksponert tre (*Figur 5*) og en lydvegg der begge sider er kledd inn i gips (*Figur 6*). Det eksponerte treverket sees av mange på som estetisk, og en faktor som gir gode inneklimateiske forhold (Lien & Lolli, 2019).



**Figur 5 - Lydvegg, 100 mm massivtre og 98 mm bindingsverk (Trefokus, 2011a)**



**Figur 6 - Lydvegg, 2x100 massivtre 13 mm gips på to sider (Trefokus, 2011b)**

### 3.4.3 Fukt

Selv om trevirke er hugget ned, er det fortsatt et dynamisk materiale da det kan krympe og svulle ved fuktpåkjenninger (SINTEF Byggforsk, 2001). Tre er derfor det som kalles et hygroskopisk materiale, som vil forme seg etter omgivelsene (Treteknisk, 2006). Variasjoner i fuktinnholdet i omgivelsene til KL-treet og limtreet avgjør om det vil avgi eller ta til seg vandamp (Glass et al., 2013; Norske limtreprodusenters forening, 2015). De mekaniske egenskapene til treet avhenger av fuktinnholdet, og dette må tas hensyn til (Norske limtreprodusenters forening, 2018). Innebygd fukt som ikke får tid til å tørke ut, kan også danne grunnlaget for mugg- og råtevekst. Det fukttekniske hensynet til KL-tre og limtre må en derfor ta hensyn til i prosjektering, transport, montasje og ferdigstilling. Noen av Norske limtreprodusenters forening (2015) sine anbefalinger trekkes frem punktvis:

- Produsere elementer med fuktinnholdet til klimaet de skal benyttes i.
- Prosjekttere konstruksjonen for fuktbevegelser
- Beskytte elementer mot fukt og overflateskader ved transport, lagring og montering. Dette kan gjøre ved å emballere i plast eller papir. Kondens kan oppstå på emballasjens innside, og under tak og tilfredsstillende inneklime bør det pakkes ut.
- Ha kontroll med relativ luftfuktighet og unngå direkte oppfukning ved oppføring og ferdigstillelse

Når KL-tre elementene ankommer byggeplassen monteres de for deretter å bli isolert og kles. Isolasjonen er i den ubeskyttede perioden utsatt for oppfukning på grunn av regn og snø. Endeveden på KL-treet er spesielt utsatt for kapillært sug, som igjen vil gi svelling og misfarging. (Gullbrekken & Elvebakk, 2018). Fuktvariasjonene kan føre til oppsprekking av treverket, som igjen kan føre til luftlekkasjer. (Glass et al., 2013).

### 3.4.4 Andre karaktertrekk limtre og KL-trebygg

Andre egenskaper forfatterne har valgt å trekke frem ved trebygg er summert opp i *Tabell 5*.

**Tabell 5 - Andre karakteristikk ved limtre og KL-tre**

Egenvekt	<p>Vekten til én m<sup>3</sup> KL-tre er omkring 400-500 kg, og sammenliknet med tradisjonelle byggematerialer er dette omtrent 20 % av vekten til betong og 7% av vekten til stål (Asplan Viak, 2016).</p> <p>På generell basis er elementene relativt lette slik at behovet for større heisekraner reduseres, som kan redusere riggekostnadene. (Borgström &amp; Fröbel)</p> <p>På grunn av treets vekt vil ressursbruk og klimagassutslippene ved den samme transportruten være mindre enn for tradisjonelle byggematerialer. Årsaken er at volumet på lastebilene i større grad kan utnyttes, som igjen fører til færre kjøreturer og lavere utslipp. Dette gir også en gunstig økonomisk konsekvens. (Reitan, Friquin og Mikalsen, 2019).</p> <p>Det er fordelaktig å benytte tre, der grunnforholdene er dårligere. Lettheten til treet åpner opp for enklere og rimeligere fundamentering. (Treteknisk, 2006)</p>
Inneklima	<p>Byggverk i tre har en positiv effekt på innendørsklima, og øker tilfredsheten til sluttbrukeren av bygget. (Lien &amp; Lolli, 2019)</p>
Montasje	<p>I et byggeprosjekt er ofte riggekostnader vesentlige utgiftsposter, og ved raskere montasjetid vil disse kunne reduseres. (Borgström &amp; Fröbel)</p> <p>Prefabrikkerte elementer monteres på byggeplassen i henhold til forprosjekterte sammenføyningsdetaljer og monteringsdetaljer. Dette gjør at montasjetiden går raskt. (Edvardsen &amp; Ramstad, 2014).</p> <p>En raskere overtakelsesdato på bygget kan være med på å gi muligheter for tidligere leieinntekter til byggherren. (Tretknisk, 2006)</p>
Sirkulærøkonomi	<p>I et sirkulærøkonomisk perspektiv vil tre kunne gjenbrukes. Etersom det monteres lett opp, vil demontering også være mulig. Ved betongstøp på dekket er demontering og ombruk vanskeligere. Etersom KL-tre er et relativt ungt materiale er det lite erfaring i markedet foreløpig. (Saunders, 2019)</p>

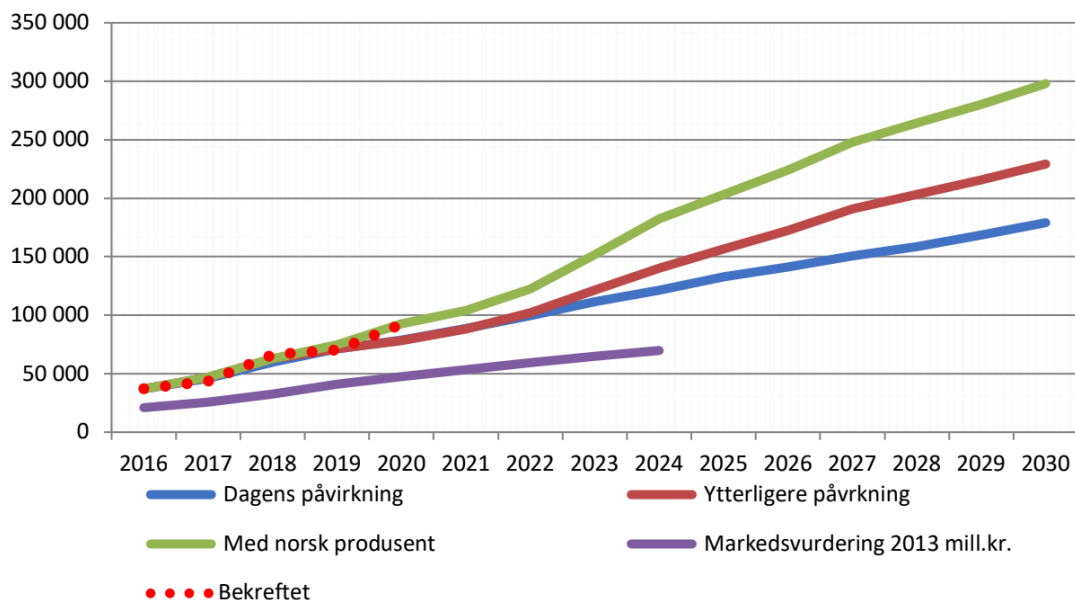
## 3.5 Lim- og massivtre markedet

Det vil i det følgende fokuseres særlig på markedet for KL-tre, da bruken av dette i de fleste tilfeller også vil inneholde støttende limtre i kritiske soner som trenger forsterkning.

### 3.5.1 Markedsandel mot tradisjonelle bærekonstruksjoner

De miljømessige fordelene treet gir, og de stadig utviklede treproduktene driver opp etterspørselen til trelast i de modne markedene (Pöyry, 2014). Bruken av KL-tre som bærekonstruksjon er spådd en vesentlig oppgang i Norge, og en rapport fra Trebruk (2017) anslo at 1,85 % av det totale byggemarkedet i Norge var utført med KL-tre. Sammenliknet, var markedsandelen til KL-tre i Sverige på ca 10 % (Pöyry, 2014). Prognosene fra Trebruk (2017) viste videre at ved å få etablert en norsk produsent, sammen med karbonavgifter, mm., kunne andelen stige til rundt 9 % i 2024. Splitkon ferdigstilte i 2019 det som til dags dato kan omtales som verdens største KL-trefabrikk, til en kontraktssum på omkring 250 MNOK. Rundt 160 MNOK av dette ble investert av det norske statsforetaket, Siva - Selskapet for industrivekst. (Siva, 2019). I markedsanalysen til Trebruk (2017) ble prognosetall for massivtreforbruket i Norge presentert ved ulike scenarioer. I 2020 ble det i et bestefallsscenario spådd et massivtreforbruk på 97 160 m<sup>3</sup> ved opprettelsen av en eller flere norske produsenter. Nå har nye prognoser fra Trebruk kommet, og faktiske tall fra Trebruk (2020), viser at et volum på 92 200 m<sup>3</sup> allerede ligger inne som ordreserver for 2020. Etter etableringen av Splitkon sitt anlegg på Åmot har andel norskprodusert KL-tre økt med 20 %, og forventer en fortsettende økning (Trebruk, 2020). Prognosen viser at KL-treforbruket i Norge kan nå rett i underkant av 300 000 m<sup>3</sup> i 2030. En markedsundersøkelse gjort av *Trøndelag Forskning og Utvikling* viste at en sannsynlig etterspørsel etter tre i bygninger kunne øke med 8 milliarder NOK i Norge frem mot 2030 (Sand & Stene, 2016).

## KL-tre forbruk i antall m<sup>3</sup>



Figur 7 - Prognose for KL-tre forbruk fra 2020-2030 (Trebruk, 2020)

Tabell 6 - Prognosetall fra Trebruk (2020)

Massivtreforbruk i m <sup>3</sup>															
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Nivå 1	37 018	46 187	59 923	71 495	78 616	88 443	99 402	111 402	121 519	132 938	141 102	150 500	158 846	168 476	179 086
Nivå 2	37 018	47 111	62 919	71 317	78 420	88 222	102 129	121 428	140 321	156 432	172 424	190 831	203 296	215 621	229 199
Nivå 3	37 018	47 111	62 919	74 882	92 535	104 102	122 554	151 785	182 418	203 361	224 152	248 081	264 285	280 308	297 959
Nivå 4	37 150	43 536	66 496	70 496	92 200										

Prognosene fra Trebruk (2020) er vist i *Tabell 6* og tilhørende grafisk fremstilling for situasjonen i Norge (*Figur 7*). Den blå linjen (Nivå 1) representerer et scenario ut fra dagens forhold, inkludert en effekt av politiske ønsker om å redusere klimagassutslipp. Den mørkerøde linjen (Nivå 2) viser utviklingen dersom KL-tre blir bedret som produkt. Den grønne linjen (Nivå 3) viser situasjonen ved etableringen av en norsk konkurransedyktig produsent. Den røde stiplede linjen (Nivå 4) representerer det faktiske volumet for 2020.

### 3.5.2 Det internasjonale lim- og KL-tremarkedet

Internasjonalt har tre som byggemateriale utviklet seg betydelig de siste årene (Asplan Viak, 2016). Trelast og andre skogindustriprodukter har et internasjonalt marked. Dermed vil den med lavest kostnad for å produsere et produkt og transportere det til markedet, ha best konkurranse, gitt at kvaliteten er tilsvarende (Pöyry, 2014). Byggenæringen og offentlige byggherrer må i dag forholde seg til et internasjonalt leverandørmarked. Konkurranseregelverket fører til at produkter, løsninger og byggekomponenter må hentes på tilbud fra hele EØS-området (Statsbygg, 2013).

Land som Finland, Sverige og Østerrike innehar noen av Europas største produsenter innenfor massivtre, blant annet Stora Enso og Binderholz. Produksjonskapasiteten til noen av de største anleggene kan være på over 100 000 m<sup>3</sup> ferdige elementer årlig (Imarc, 2017; Stora Enso, 2019). Østerrike står i dag for hele 75 % av verdens massivtreproduksjon (Trebruk, 2017). Sverige har hatt en eksportøkning til Norge, blant annet på grunn av sin nærhet til det norske markedet. Svenske sagbruk er konkurransedyktig blant annet på grunn av grunnet gunstig valutakurs, lavere produksjonskostnader og lav logistikk-kostnad for transport til Norge. (Pöyry, 2014)

Norskprodusert lim- og massivtre står derfor overfor hard konkurranse fra det Europeiske markedet. Bruk av lokalt trevirk er av betydning for kostnader og logistikk. Fra utenlandske aktører er transportkostandene som regel lave, sett i forhold til produksjonskostnaden fra de norske elementene (Kittang, Narvestad & Nyrud, 2011).

### 3.5.3 Det norske markedets status og potensial

I Norge anslår tall fra Statistisk Sentralbyrå at det i 2019 var ca. 728 millioner m<sup>3</sup> gran og furu i Norske skoger, med en årlig tilvekst av de nevnte tresortene på 18,9 millioner m<sup>3</sup> (SSB, 2019a). Av dette ble i underkant av 5,84 millioner m<sup>3</sup> sagtømmer avvirket til salg i 2018. (SSB, 2019; SSB, 2020). Sagtømmer utgjør den beste kvaliteten, og den mest kostbare (Statsbygg, 2013). Videre viser tall fra SSB (2020) at tømmerprisene varierer relativt mye. Gjennomsnittsprisen økte 6 % fra 2018 til 2019, men gikk ned 13,6 % i 1. kvartal i 2020 sammenliknet med 1. kvartal i 2019.

Etterspørselen etter bartrelast er sterkt avhengig av aktiviteten i byggebransjen. I byggenæringen øker importen av byggevarer og prefabrikkerte løsninger, og den tremekaniske industrien i Norge har generelt svak lønnsomhet. Samtidig er samspeillet mellom alle aktørene i verdikjeden avgjørende for lønnsomhet. Eksempelvis gir bortfall av papirprodusenter en virkning for andre treforedlende aktører, og salg av

industriell er avgjørende sagbrukenes lønnsomhet. Manglende avsetning for massevirke fra skogen krever samtidig høyere priser på sagtømmer for å utløse volum til sagbrukene. (Pöyry, 2014)

Tall fra SSB (2020) opplyser om at prisen for norsk sagtømmer var på 522 kr/m<sup>3</sup> i 2019. Asplan Viak (2016) skriver at hvis en enhetspris på 500 kr/m<sup>3</sup> for sagtømmer antas, så vil det koste rundt 1200-1300 kr i rene sagtømmer-kostnader per kubikk KL-tre. Dette begrunnes med at det kreves rundt 2,5 m<sup>3</sup> sagtømmer for å produsere 1 m<sup>3</sup> med KL-tre. Asplan Viak (2016) hevder videre at en representativ pris på umontert KL-tre på byggeplass er rundt 1000 euro/m<sup>3</sup> eller 9500 kr/m<sup>3</sup> (med datidens kronekurs). Med disse forutsetningene tatt i betraktning viser det at produksjon, design og transport øker prisen på råstoffet til et sted mellom 7-8 ganger sin opprinnelige verdi.

#### **3.5.4 Hva må til for å få å styrke det norske markedet**

Asplan Viak (2016) beskriver at tre kan konkurrere med andre byggematerialer i de fleste typer bygg, men at det krever en utvikling og industrialisering av verdikjeden fra skogsindustrien, til videre bearbeiding, logistikk og design. Videre nevnes også transport som et vesentlig kostnadsbilde til skognæringen, og at bedre veinett til enkelte skogsområder hadde senket driftskostnadene til produsentene.

Pöyry (2014) skriver at bruk av tre i nye konstruksjonsapplikasjoner, for eksempel høye bygninger, krever ofte nye eller reviderte bygningsstandarder, da byggeprosesser og -teknikker er forskjellige i forhold til stål- og betongbygg. Enhetlige forskrifter, lover og normer er viktig for å støtte nye typer trebaserte konstruksjoner. Mangelen på nettopp dette har bremsset utviklingen i mange nybyggmarkeder. Videre pekes det på at den norske skogsindustrien bør produsere til en konkurransedyktig pris. En annen viktig faktor som driver etterspørselen etter trevirke i byggingen er økende bevissthet om "grønne" og bærekraftige konstruksjoner. Produktifisering som et middel for å ytterligere standardisere og industrialisere byggebransjen med eksempelvis prefabrikking eller modul-løsninger har også en positiv effekt på pris.

### 3.6 Nasjonale mål og næringens oppmuntring til bruk

For å imøtekomme og handle mot de stadige miljøutfordringene dagens samfunn står overfor, trådte «Lov om klimamål» (Klimaloven) i kraft ved inngangen til 2018. Lovens formål er blant annet å fremme gjennomføring av Norges klimamål frem mot 2030 som tar sikte på å redusere klimagassutslipp med minst 40 % (Klimaloven, 2018). Den globale bygg- og anleggsnæringen har i flere år bidratt til vesentlige klimagassutslipp, og Asplan Viak (2019) anslår at den norske bygg og anleggsbransjen utgjorde 15,3 % av norske utslipp i 2017. På grunn av dette har det blitt rettet søkelys på hvordan byggenæringen kan bidra til å redusere utslippene. Næringen virker å enes om at tre er et mer klimavennlig materiale enn stål og betong, da produksjonen av trematerialer har et lavere utslipp, samt at treet har evner å binde CO<sub>2</sub>. Det er vanskelig å konkludere med hva den reelle forskjellen er, ettersom defineringer og forutsetninger for klimagassregnskapet har store utslag. Asplan Viak (2016) legger blant annet vekt på at byggematerialene må settes sammen til sammenlignbare deler. Regjeringen (2018) virker å enes med næringen, og uttalte at det var et mål å øke bruken av tre, for å erstatte klimaskadelige materialer som betong og stål. Regjeringen har gjennom statsbudsjettet bevilget 20-30 MNOK i flere år til innovasjon av trebruk gjennom ulike programmer utarbeidet av Innovasjon Norge og Norges Forskningsråd (Trebruk, 2020; Regjeringen, 2018). Visjonen til programmene er å gjøre Norge til et forbilde for verdiskapende foredling og nye bruksområder for trevirke i byggenæringen. Et eksempel er det pågående innovasjonsprosjektet *Build-in-Wood*, finansiert av Horizon 2020 med ca. 102 MNOK, som har mål om å fjerne barrierer og utvikle standardiserte, industrialiserte løsninger for fleretasjes trebygg. Prosjektet vil vare frem til 2023. (Build in Wood, 2020)

Ved å fremme økt bruk av tre i byggesektoren åpner det også for vekst i skognæringen. Gjennom den nasjonale strategien kalt SKOG22, utarbeidet i 2015, ble mål for kort- og langsiktig utvikling av en konkurransedyktig skognæring definert. Utarbeidelsen gjaldt blant annet mål for hvordan Norge kunne utløse sitt skogpotensial, samt tiltak for å styrke konkurransevnen i de ulike næringene skogindustrien omfatter. Noen konkrete mål for byggenæringen trekkes frem punktvis:

- Utvikle standarder og digitalt baserte prosesser.
- Få på plass krav til LCA i *Teknisk forskrift* (TEK).
- Utvikle solid og omforent miljødokumentasjon fra produksjon av materialer og til gjenbruk av bygg
- Utvikle bærekraftige byggeløsninger for alle samfunnssektorer gjennom å styrke samarbeidet mellom treindustrien og FoU-miljøene om forskning, innovasjon og kompetanseutvikling.



De senere årene har kompetansesentrene Treteknisk og Trefokus sammen med Byggeindustrien tidsskrift valgt å markere treets stadig tydeligere posisjon i oppføring av næringsbygg og urban bebyggelse, ved å dele ut prisen «Årets trebyggeri». I tildelingen har det blant annet blitt lagt vekt på innovativ og/eller spennende trebruk, høy arkitektonisk kvalitet, energieffektivitet, arealeffektivt og økonomisk byggeri, kompetanseutvikling hos involverte aktører og prosjektet skal ha bidratt til leverandørutvikling. (Byggfakta, 2019b). De tre kandidatene til å vinne kåringen fra 2019 er avbildet under. Vinneren av konkurransen har på dette tidspunkt ikke blitt annonsert, som en følge av Coronaviruset.:



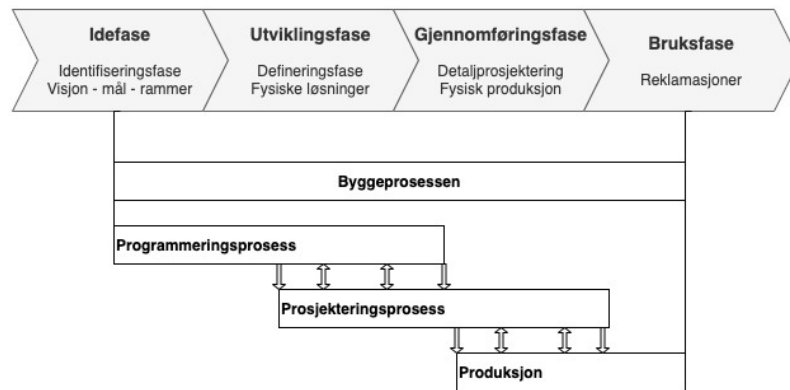
**Figur 8 - Kandidatene til årets trebyggeri 2019. f.v. Mjøstårnet (foto: ukjent), JJ kaffebrenneri (foto: Stefan Offergaard) og Finansparken (foto: Ole Harald Dale). Illustrasjoner er hentet fra Woodify, u.å og Byggeindustrien, 2019)**

### 3.7 Prosessene fra idé til ferdig bygg

Eikeland (1999) definerer byggeprosessen som «alle prosesser som fører frem til eller er en forutsetning for det planlagte byggverket». Dette kapittelet er ment til å gi en grunnleggende introduksjon og forståelse av byggeprosessens kjerneprosesser og dets faser. Hensikten er å danne et sammenlikningsgrunnlag, da flere av intervjuobjektene tenderer til å sammenlikne tradisjonelle byggeprosesser mot prosjekter i limtre og KL-tre. Tradisjonelt har byggeprosessens kjerneprosesser blitt delt inn i programmering, prosjektering og produksjon, slik Eikeland (1999) beskriver den:

<u>Programmering</u>	- Identifisering av krav som byggverket skal tilfredsstille
<u>Prosjektering</u>	- Utvikling, utforming og beskrivelse av byggets fysiske egenskaper
<u>Produksjon</u>	- Fysisk utførelse

Sammen med faseinndeling slik Packendorff (1993) karakteriserer generell prosjektteori, har prosess og fasesammenhengen blitt formet i *Figur 9*, med et modernisert uttrykk av forfatterne. Faseinndelingen har som formål å gi en overordnet helhetlig kontroll med prosjektet på kritiske stadier (Eikeland, 1999).



**Figur 9 - Byggeprosessen (Eikeland, 1999). (Illustrert av Rasmus T. Vengen)**

Det finnes en rekke slike prosess- og fasemodeller. Bygg21 definerte i 2015 rammeverket «Neste Steg» og dokumentet «Gjennomføring av bygg- og anleggsprosjekter» som beskriver byggeprosessen over tid, i åtte steg - fra start til avhending. Dette skal fungere som en felles norm for faseinndeling av byggeprosjekter, og utvikle et effektivt, felles språk for næringen. Hensikten er å øke produktivitet ved at aktører fases inn på rett tidspunkt, premisser blir klarere og leveransetidspunkter blir ivaretatt (Bygg21, 2015a). Den stegvise oppbygningen slik Bygg21 (2015b) beskriver den, med relevante aktørperspektiv og aktuelle leveranser er utformet for den moderniserte byggeprosessen, i *Tabell 7* på neste side.

Tabell 7 - Gjennomføring av bygg- og anleggsprosjekter (Bygg21, 2015b)

Den stegvise oppbygging til gjennomføringen av byggeprosessen			
Steg	Eierperspektivet	Brukerperspektivet	Utførendeperspektivet
<b>1. Strategisk definisjon</b>	Mål		
	Identifisere eierens mål og ambisjoner, forretningsmessige rammer - utarbeidelse av forretningsplan	Identifisere behovsgapet	-
	Leveranse		
	Forretningsplan	Behovsanalyse	-
<b>2. Programutvikling og konseptutvikling</b>	Mål		
	Konkretisere mål og rammer for prosjektet.	Avklare prinsippvalg (konseptvalg)	Første plan for gjennomføring
	Leveranse		
	Konseptvalgutredning Finansiell ramme	Program, Konseptdokumentasjon, Skisseprosjekt (funksjonsprogram)	Styringsdokumenter
<b>3. Forprosjektutvikling</b>	Mål		
	Klarlegging av konsekvenser. Bekreftelse av forretningsplan - utarbeidelse av styringsparametre	Konkretisering av krav og behov.	Legge rammer for gjennomføring
	Leveranse		
	Grunnlag for beslutning om investering, kostnadskalkyle Finansiering	Oppdatert program (romprogram) Forprosjekt	Gjennomføringsmodell, skissert løsning for byggemetode, tekniske føringer
<b>4. Utvikle grunnlag for produksjon og leveranse</b>	Mål		
	Sørge for at nødvendige ressurser og kompetanse er på plass for å sikre at prosjektet er i henhold til forretningsplan	Sikre at krav og behov er ivarettatt i prosjektering	Klargjøre hva som skal utføres og hvordan (utførendes mobiliseringsfase).
	Leveranse		
	Statusrapport i henhold til styringsparametre	Spesifikasjon av løsning	Produksjonsunderlag, planer for kvalitet, tid og gjennomføring
<b>5. Produksjon og leveranse</b>	Mål		
	Sørge for at nødvendige ressurser og kompetanse er på plass for å sikre at prosjektet er i henhold til forretningsplan	Sikre at krav og behov ivaretas i bygging	Levere i henhold til mål og rammer.
	Leveranse		
	Statusrapport i henhold til styringsparametre	"Som bygget"- dokumentasjon - spesifikasjon av bygget løsning	Prestasjonsmålinger

<b>6. Overlevering (ibruktakelse)</b>	Mål		
	Vurdere om dette er rett bygg for å tilfredsstille forretningsplan.	Fase inn bygget i egen virksomhet. Prøvedrift	Kontraktavslutning
	Leveranse		
	Produktevaluering i henhold til prosjektmål	FDV dokumentasjon	Prosessevaluering
<b>7. Bruk</b>	Mål		
	Realisere gevinst på investeringen	Ivareta brukskvalitet	Sikre optimal drift
	Leveranse		
	Ettrevaluering av forretningsplan. Finansiell dekning	Bruksevalueringer	Driftsevaluering
<b>8. Avhending</b>	Mål		
	Slutt regnskap	Opphør av drift	Avhending av bygg
	Leveranse		
	Dokumentert ROI (Return on investment)		

Her beskriver fasene den økende modningsgraden i prosjektet. Organisering av prosjektets oppgaver og ansvar kan gjøres ved hjelp av disse fasene, i tillegg til å følge en formell beslutningsprosess. Hva som kreves av avklaringer vil ikke spesifiseres.

### 3.7.1 Involvering av et utvalg sentrale aktører sett fra utførendeperspektivet

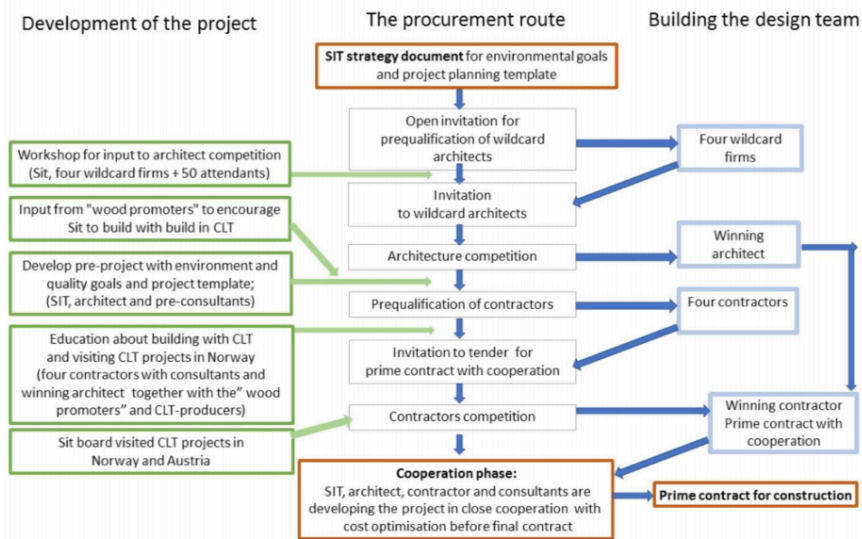
Opgaver som innebærer utredning, prosjektering eller bygging betrakter Bygg21 (2015a) i sin prosessmodell som «produksjonsoppgaver». De utførende hyres inn av prosjekteieren for å utvikle og skape det ønskede resultatet. De utførendes roller kan inndeles slik Bygg21 (2015a) nevner i det understående, men det vil ikke gi fullstendig bilde i alle tilfeller da hvert prosjekt er unikt:

Prosjekterende: Arkitekter, tekniske rådgivere, spesialrådgivere

Leverandører: Entreprenører, underentreprenører, materialleverandører, tjenesteleverandører

Produsenter av: Byggevarer, byggelementer

Når de utførende blir involvert i prosjektet avhenger av kontraktsstrategi og gjennomføringsmodell (Lædre, 2006). I forbindelse med KL-treprosjektet Moholt 50/50, ble en studie gjennomført av Lien & Lolli (2019) fra SINTEF. Denne hadde som mål å kartlegge relasjonen mellom tidligfase, anskaffelsesprosessen og strategiene for å redusere kostnader i denne fasen. Utvelgelsesprosessen og gangen fra idé til bygging er vist gjennom *Figur 10*.

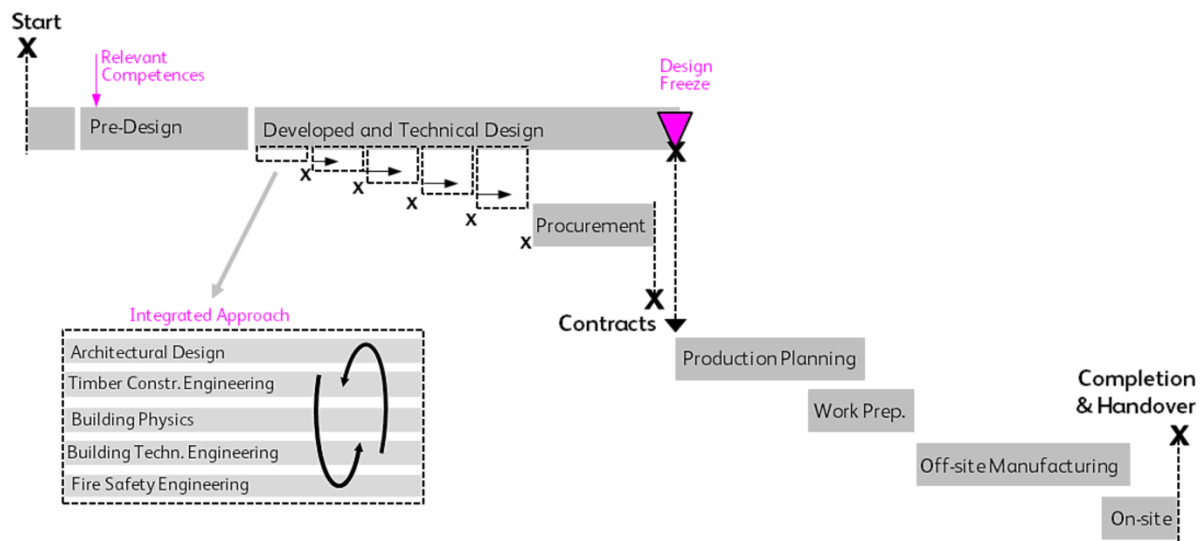


Figur 10 - Gjennomføringen av Moholt 50/50 (Illustrasjon: Lien & Lolli, 2019)

Totalentreprise med samspill ble valgt som gjennomføringsmodell, og Veidekke vant frem i konkurransen. Ved bruk av sine egendefinerte planleggings- og gjennomføringsverktøy; Involverende planlegging og Porsche system, reduserte Veidekke byggetiden med 4 måneder, sammenliknet en tenkt gjennomføring med bruk av plasstøpt betong.

### 3.7.2 Lean Construction og bæresystemer i limtre og KL-tre

Det Europeiske samarbeidsprosjekt *leanWOOD* ble gjennomført i perioden 2014-2017, hvor land som Tyskland, Sveits, Frankrike og Finland bidro. Prosjektet hadde som mål å anvende hovedprinsippene i *Lean Management* til design- og planleggingsfasen, samt gjennomføringsfasen. Figur 11 viser «den ideelle prosessen» for trekonstruksjoner, som ble utarbeidet av *leanWOOD*-teamet.



Figur 11 - leanWOOD's modell for byggeprosessen; «den ideelle prosessen». Illustrasjon (Geier, 2019)

Prosessmodellen tar ikke bare sikte på å overholdelse av timing og kostnadstall, men viser også det omfattende beslutningsrommet som oppstår i fasen «Developed and Technical Design». For å kunne nytte av fordelene konstruksjoner i KL-tre gir, argumenterer Geier (2019) for at det er nødvendig å forstå treets egenskaper og legge prosessen deretter. I konstruksjoner av KL-tre og limtre vil egenskapene til isolasjon, brann- og akustikk påvirkes av alle strukturelle komponenter og må tas med i betraktningen i en tidlig fase.

### 3.7.3 Verdiskapning i byggeprosessen

For å vurdere byggeprosjektets verdiskapning skiller Eikeland (1999) mellom indre og ytre effektivitet. Begrepet verdiskapning vil i denne oppgaven fokusere på et tidsperspektiv som følger byggeprosessen, og ikke driftsfasen til bygget. Det er særlig indre effektivitet som danner grunnlaget for drøftelse i denne oppgaven, men den ytre effektiviteten vil også bli belyst.

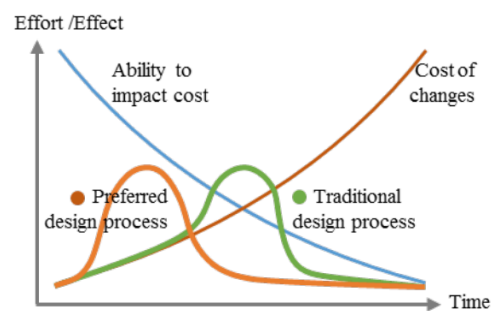
*Indre effektivitet* er forhold som omfatter ressursbruk, kostnader og tidsforbruk. «En høy grad av indreeffektivitet vil si at byggeprosessen bruker et minimum av ressurser, tid og kostnader til å frembringe det resultatet prosessen skaper» (Eikeland, 1999). Indre effektivitet fokuserer således på å øke samspelet mellom alle aktørene i verdikjeden, blant annet gjennom å få til kostnadseffektive leveranser og økt produktivitet. For å øke indre effektivitet kan en kvalitetssikring av prosjektering, bygge- og montasjearbeid. Feil og kvalitetsavvik er ofte kostnadsdrivere, og et målrettet fokus på å minimere disse bidrar til økt indre effektivitet.

Andre tiltak som kan gi økt indre effektivitet er industrialisert produksjon i form av standardisering av prosesser, komponenter og produkter, gjennom økt logistikk i prosjektering, gjenbruk av informasjon, klarering av grensesnitt og effektivisering av produksjonsprosessen. Indre effektivitet handler med andre ord om «å gjøre tingene riktig».

*Ytre effektivitet* er på den andre siden «et uttrykk for byggeprosessens evne til å tilfredsstille markedets behov: de mål, krav og prioriteringer som knyttes til prosjektet av byggenæringens kunder» (Eikeland, 1999). Den ytre effektiviteten fokuserer på den måten på eiers og brukers verdiskapning og merverdi. Verdien byggeprosessen har skapt for kunden er gjerne differansen mellom prosjektets inntekter (fremtidig bruk, utleie, salg etc) og utgiftene fra eiendomskjøp og byggeprosessen. Kvaliteter som estetikk, symbolikk, praktiske løsninger og tilfredsstillelse av brukerkrav kan også regnes som verdier i så måte. Kravet fra eier

og bruker er gjerne bevegelig og foranderlige under byggeprosessen og når bygget er tatt i bruk. Sett fra et byggherreperspektiv handler derfor ytre effektivitet om «å gjøre de riktige tingene». Indre effektivitet blir derfor en faktor som kan bidra til ytre effektivitet gjennom å bedre kvalitet eller lavere pris for kunden.

Verdiskapningen som skjer i byggeprosessen avhenger av flere faktorer og involverte aktører. Kostnaden som kunden blir belastet avhenger av markedssituasjon og kontraktuelle forhold. For entreprenøren og leverandørene handler det i større grad om beregningen av egne kostnader, konkurransen og kontraktgjennomføring. Hvorvidt engasjementet i prosessen leder til fortjeneste eller tap kommer an på kontraktssummen, men det er en grunnleggende tanke at et positivt økonomisk resultat er grunnlaget for engasjementet. (Eikeland, 1999)



**Figur 12 - MacLeamy-kurven. (Illustrasjon av le Roux et. al. (2016).**

Et byggeprosjekt blir vanskeligere å forandre desto mer utviklet det blir. Paulson's kurve fra 1976 (Paulson, B.C, 1976), ble i 2004 redefinert av MacLeamy i forbindelse med inntoget av BIM i byggenæringen. MacLeamy-kurven (*Figur 12*) viser hvordan muligheten til å påvirke kostnadene varierer gjennom et byggeprosjekt (blå), og hvordan kostnader ved forandringer øker underveis (rød). De bølgede kurvene viser henholdsvis hvordan det er ønskelig at beslutninger flyttes til et tidligere tidspunkt, mot slik det tradisjonelt gjøres. Le Roux et. al. (2016) beskriver at det finnes to hovedprinsipper som forener moderne trekonstruksjoner og BIM, nemlig interaktive planleggingsprosesser og bruk av digitale modeller, og gjør at KL-treprosjekter i stor grad vil likne på «Preferred design process»-kurven. Videre argumenteres det for at en effektiv anvendelse av fordelene som prefabrikasjon gir, krever en integrert prosess som kan samle informasjon og kunnskap fra spesialister i et tidlig stadium.

### 3.8 Generelt om *Lean Construction*

*Lean* er en produksjonsfilosofi som først ble tatt i bruk hos Toyotas produksjonssystemer, og videre bearbeidet til å gjelde for byggenæringen. Teorien har fokus på blant annet å skape flyt i arbeidsprosessen og å fjerne ikke verdiskapende aktiviteter. En av de første og mest innflytelsesrike tolkningene står Lauri Koskela (1992) for. Der er det lagt stor vekt på spesielt to uttrykk: *waste* og *flow*. Waste kan bli oversatt til ikke-verdiskapende aktiviteter – tid og ressursbruken knyttet til disse oppgavene bør minimeres eller fjernes. Flow kan oversettes til produksjonsflyt. Da menes det en jevn og rask fart i produksjonen med høy andel verdiskapning og lite avbrekk. (Kolsås, 2017)

### 3.9 Seven wastes of *Lean*

I følge Ohnos (1988) opprinnelige tolkning inneholder en produksjonsprosess sju kategorier med ikke-verdiskapende aktiviteter. Ved å fjerne disse aktivitetene hevdet Ohno at det kom til å redusere kostnaden i en produksjonsprosess, og dermed øke profitten til bedriften.

- **Venting:** Kan være grunnet mange forskjellige ting. Vanlige årsaker er venting på materialer, utstyr, verktøy eller godkjenning.
- **Overprosessering:** Skjer der det legges for mye innsats i noe som ikke er verdiskapende for kunden. Eksempler kan være maling av områder som ikke vises eller pussing av betongfundamenter.
- **Defekte varer:** Veldig viktig for å hindre sløseri av ressurser. Bør unngås.
- **Bevegelse:** Unødvendige bevegelser for arbeidere eller maskiner. Det bør tilstrebes å legge til rette for å gjøre oppgaven med så lite bevegelser som mulig.
- **Overproduksjon:** Det produseres mer av en vare enn nødvendig. Ofte et resultat av lange syklustider eller mangel på kommunikasjon.
- **Beholdning:** Ubrukte materialer, inventarog lagring bruker ressurser, men skaper ikke verdi i seg selv.
- **Transport:** Ikke verdiskapende i seg selv, men bruker ressurser. Bør unngås i den grad det er mulig.

Det er relativt stor enighet i disse sju aktivitetene, men det finnes også flere tolkninger. Et eksempel på dette er Koskela (2004), som mener at «making-do» (aktiviteten å starte en arbeidsoppgave uten riktige forutsetninger for å fullføre den) kan regnes som et åttende punkt. Macomber og Howell (2004) argumenterte med at de to punktene som førte til mest sløseri i et byggeprosjekt er den manglende evnen til å kommunisere eller å motta informasjon. Det finnes også eksempler på at uutnyttet talent regnes som sløseri av noen.



### **3.10 Koskelas elleve produksjonsprinsipper**

I Koskelas (1992) produksjonsfilosofi finnes elleve prinsipper som skal hjelpe til å øke produktiviteten ved å blant annet å gi produksjonen bedre flyt og å minimere waste. Mange teorier og verktøy har som mål å forbedre ett eller flere av disse punktene. Nedenfor følger en forkortet tolkning av de elleve prinsippene basert på Koskela (1992).

#### **3.10.1 Reduser antallet ikke-verdiskapende aktiviteter**

Aktivitetene som gjøres i et byggeprosjekt kan deles inn i verdiskapende og ikke-verdiskapende aktiviteter. Å redusere andelen ikke-verdiskapende aktiviteter vil øke produktiviteten i prosjektet, ved å prioritere aktiviteter som skaper verdi. Erfaringstall viser at de aller fleste av aktivitetene som gjøres i forbindelse med et byggeprosjekt er ikke-verdiskapende. I følge Koskela er det tre hovedgrunner til dette: prosjektering, uvitenhet og byggeprosjekters iboende natur.

- Verdiskapende aktiviteter gjør om materialer eller informasjon til noe som er en del av produktet som kunden har forespurt eller er ute etter. Eksempler på dette kan være maling av vegger, tekking av tak eller montering av massivtre-elementer.
- Ikke-verdiskapende aktiviteter bruker tid, ressurser eller plass i byggeprosjektet, men bidrar ikke til verdiskapning i prosjektet. Eksempler på dette kan være venting, transport eller lagring av materialer.

#### **3.10.2 Øk produksjonsverdien gjennom systematisk vurdering av kundens behov**

Selv om vurdering av kundens behov kan virke som et åpenbart mål, får det sjeldent tilstrekkelig fokus. Altså bør prosjektet ha en grundig forståelse av kunden. Dette kan effektivisere verdiskapningen i prosjektet ved at ressurser blir fordelt på de rette aktivitetene. Det finnes i hovedsak to typer kunder i et byggeprosjekt: personer som skal gjøre neste aktivitet på plassen og sluttkunden.

#### **3.10.3 Reduser variabilitet**

I byggeprosjekter er variabilitet en stor utfordring, og variabiliteten mellom prosessene bør ofte reduseres. Det viser seg at det er en korrelasjon mellom økt variabilitet og økt andel ikke-verdiskapende aktiviteter – spesielt variabilitet med hensyn på prosessens varighet. Dessuten gjør redusert variabilitet at kundene enklere vet hva som forventes som output (Bendell et. al., 1989).

#### 3.10.4 Reduser syklustiden

Tid er en naturlig måleenhet for en flow-prosess, ettersom enheten også kan drive fram forbedringer knyttet til kostnad og kvalitet (Krupka, 1992). En arbeidspakke kan kategoriseres etter syklustiden som blir brukt på å gjøre om materialet til et gitt produkt. Syklustiden kan defineres som vist i Formel 1:

$$\text{Syklustid} = \text{Prosesseringstid} + \text{Inspeksjonstid} + \text{Ventetid} + \text{Bevegelsestid} \quad (1)$$

Ved å fokusere på å redusere ikke-verdiskapende aktiviteter bør inspeksjon-, vente- og bevegelsestiden være i fokus når syklustiden skal ned. Prosesseringstiden blir som regel ikke redusert. Ved å følge de andre prinsippene på listen vil dette kunne ha en positiv innvirkning på syklustiden.

#### 3.10.5 Forenkle prosessen ved å minimere antall trinn, deler og sammenkoblinger

Det finnes flere fordeler ved å simplifisere prosessen. Komplekse systemer er som regel mindre pålitelige enn enkle prosesser, og derfor kan det også kreves færre ressurser i forbindelse med estimering og planlegging av en enkel prosess. I tillegg vil produkter som kommer av enkle prosesser ofte inneholde færre feil. Forenkling av prosessen kan skje på mange måter; ved å fjerne ikke-verdiskapende elementer i prosessen eller ved å konfigurere prosessen slik at trinnene og sammenkoblingene i prosessen blir mindre avanserte. Noen måter å få til dette på inkluderer:

- Gjør arbeidspakkene mindre ved å kombinere arbeidsoppgaver
- Reduser antall deler ved prefabrikkering eller ved grundig prosjektering
- Standardisering av deler, materialvalg, verktøy og liknende.
- Minimer mengden med informasjon som trengs for å utføre oppgaven.

#### 3.10.6 Øk fleksibiliteten i produksjonen

Selv om det virker som det å øke fleksibiliteten i produksjonen vil være et kompromiss til prinsippet med å redusere variabiliteten, har det vist seg at en del bedrifter klarer å gjøre begge deler på en gang (Stalk & Hout 1989). For å få til dette bør følgende tilstrebnes:

- Sørge for at størrelsen på et parti samsvarer godt med etterspørselen
- Reduser vanskeligheten ved omstilling
- Tilpasning bør skje så sent i prosessen som mulig
- Arbeiderene bør være dyktige nok til å kunne utføre et bredt spekter med arbeidsoppgaver

#### 3.10.7 Gjør prosessen mer transparent

At prosessen skal være transparent betyr at den bør være gjennomskiktig og forståelig for arbeiderene. Det skal være mulig for arbeiderene å se helhetsbildet av arbeidsprosessen og forstå deres rolle i hele systemet.

Det viser seg at prosessens transparens er viktig for både motivasjonen hos arbeiderene og for å minimere antall feil som gjøres i produksjonen (Stalk & Hout 1989). Å øke produksjonens transparens kan blant annet økes ved å gjøre følgende:

- Ha informasjon om prosessen tilgjengelig eller visende, slik at arbeidere kan oppdatere seg selv
- Gjør målinger som fremhever de ikke-synlige resultatene av arbeidet
- Bruk visuelle verktøy som gjør det enkelt å se om en prosess tilfredsstiller ønskede krav til kvalitet
- Reduser avhengigheten mellom forskjellige produksjonsenheter
- Ha en ryddig og oversiktlig arbeidsplass og bruk 5S-metodikk

### 3.10.8 Fokuser på å ha kontroll over hele prosessen

Det finnes to barrierer som deler opp arbeidsprosessen og fører til redusert flyt (flow). Den ene barrieren er mellom egne enheter i produksjonsprosessen, og den andre er organisatoriske barrierer mellom egen prosess og andre interessenters prosesser. Selv om deler av prosessen ikke kan påvirkes bør den overvåkes slik at eventuelle endringer ikke kommer som en overraskelse. Ved å ha god kommunikasjon og gode relasjoner til andre interessenter kan kontrollen over hele prosessen økes. Det er også ønskelig at samarbeidet legger opp til at interessentene deler suksesskriterier, og at interessentene har et ønske om «å dra i samme retning».

### 3.10.9 Legg tilrette for kontinuerlig forbedring

Effektivisering av en arbeidsprosess handler om inkrementell utvikling, og bør derfor gjøres kontinuerlig.

Det finnes forskjellige metoder for å legge til rette for dette:

- Måling av og kontroll over eventuell forbedring
- Angi delmål som skal stimulere arbeiderene til å finne løsninger eller til å avdekke svakheter ved prosessen. For eksempel ved å redusere syklustiden eller øke lagerplassen.
- Gi ansvar for forbedring og effektivisering til alle ansatte. Gradvis forbedring av hver organisasjonsenhet bør både kreves og belønnes.
- Bruk standardprosedyrer som et forslag for beste praksis, og vær åpne for at arbeidsmetodene kan bli utfordret og effektivisert.
- Fokus bør være på å eliminere den bakenforliggende årsaken til problemer i stedet for å løse effekten av dem. Forbedring bør være rettet mot problemer i prosessen og kontrollbegrensninger.

### 3.10.10 Balanser forbedring i flyt (flow) med fornying av utstyr og prosesser

Inkrementelle forbedringer i måten å arbeide på bør veies opp mot å fornye utstyr og å endre prosessene radikalt. Det finnes fordeler og ulemper med begge deler. Som regel bør flyten i prosessen være optimalisert før prosess eller utstyr fornyes, ettersom det kan øke produksjonskapasiteten slik at fornyingen kan være overflødig. Dessuten vil god flyt i gjeldene produksjon være med på å gjøre implementeringen av nye metoder og utstyr enklere. På en annen side kan fornying føre til eksempelvis lavere variabilitet – noe som kan gi bedre premisser for å få til god flyt i produksjonen. Det kan være en god idé å undersøke muligheten for flytforbedring før store investeringer i nytt utstyr eller lokaler. Som en tommelfingerregel gjelder følgende:

- En produksjonsprosess med høy kompleksitet vil ofte ha større nytte av forbedring i flyt enn en produksjonsprosess med lav kompleksitet.
- Jo høyere andel ikke-verdiskapende aktiviteter det er i en produksjonsprosess jo større nytte vil prosessen har av en forbedring i flyt sammenlignet med fornying av utstyr og prosesser.

### 3.10.11 Mål og sammenlign (benchmarking)

Benchmarking går ut på å sammenligne resultater, arbeidsmetoder, produkt eller lignende med valgte kriterier eller gitte standardverdier. Dette er gjort for å oppnå forbedringer i egne løsninger. Bruk av denne metoden kan åpne øynene for andre løsninger og radikale forbedringer, og belyse fundamentalt ineffektive prosesser. Ifølge Camp (1989) bør følgende steg følges ved benchmarking:

- Vurder prosessen, og kjenn til styrkene og svakhetene til prosessens underprosesser.
- Kjenn til lokale konkurrenter og de næringsledende bedriftene; finn, forstå og sammenlign deres prosesser med egne.
- Kopier, bearbeid og inkorporer de beste underprosessene inn i egne prosess.
- Bli bedre ved å inkorporere eksterne løsninger og arbeidsmetoder til prosessens eksisterende styrker.

## 3.11 Just-in-time

Just-in-time (JIT) er en produksjonsmetode som innebærer at det tilstrebes å fjerne materialers lagringsfase helt. Det vil si at materialene skal brukes når de kommer på byggeplassen. For at dette skal fungere må riktige materialer komme i riktig mengde til riktig tid. Slik som mange andre *Lean*-idéer stammer JIT opprinnelig fra Toyotas produksjonslinjer (Akintoye, 1995).

Materialer står for en veldig stor del av byggekostnadene. Ofte blir byggematerialer bestilt uker eller måneder før de skal brukes, noe som fører til ressursbruk knyttet til oppbevaring av byggematerialene. På

en annen side kan det å bestille materialer tidlig minske risikoen for at produsenten eller leverandøren forsinket fremgangen i prosjektet. Ideelt sett hadde byggematerialene dukket opp i det de skal brukes, men slik fungerer det ikke. Ved å ha god kontroll på byggeprosessen og når det er behov for de enkelte materialene kan tid og ressurser knyttet til lagring reduseres, noe som vil føre til bedre flyt i produksjonen. (Akintoye, 1995)

### 3.12 Last Planner System

En sentral del av *Lean Construction* er *The Last Planner System* (LPS), utviklet av Herman Glenn Ballard og Gregory Howell gjennom 1990-tallet, og publisert i 2000 gjennom doktorgradsavhandlingen til Ballard (2000). LPS ble utviklet til å være et prosjektplanleggingsverktøy, med hensikt om å øke forutsigbarheten i produksjonen. LPS bør ifølge Ballard (2000) benyttes i prosjektering, anskaffelser, bygging og installasjoner, og vektlegger spesielt involvering av de utførende fagarbeiderne. I dette ligger det spesielt at håndverkere aktivt skal delta i planleggingen av arbeidet de skal utføre (Kalsaas, 2017). I tillegg skal detaljene i arbeidet planlegges nær opptil når aktiviteten skal utføres. Aktørene i et byggprosjekt kan ha sin egen versjon av verktøyet, og da er det ofte sentrert rundt involverende planlegging.

Studiene til Ballard (2000) viste at ved bruk av ordinær kritisk-vei-metode i prosjektplanleggingen, ble kun 54 % av de planlagte aktivitetene utført i henhold til fremdriftsplanen. Dette viser en unødvendig ressursbruk i planleggingsfasen, eller for optimistiske antagelser, da omlag halvparten av aktivitetene ikke blir utført som planlagt. Samtidig vil forutsigbarheten i produksjon og leveranser minke og skape flere usikkerheter dersom avvik i planen oppstår (Kalsaas, 2017). Utfordringen skulle løses ved å måle og forbedre andelen aktiviteter som er utført i henhold til den overordnede tidsplanen. PPC (Percent Plan Complete), eller PPU (Prosent Planlagt Utført) på norsk, kan uttrykkes for en gitt tidsenhet på følgende måte som vist i Formel 2.

$$PPU = \frac{\text{Antall aktiviteter utført i henhold til plan}}{\text{Antall planlagte aktiviteter}} \cdot 100\%.$$

(2)

Ballard (2000) fant at det var en positiv korrelasjon mellom PPU og produktiviteten til arbeidslaget som gjennomførte aktiviteten. LPS streber etter forutsigbar produksjonsflyt, som innebærer at de ulike arbeidsoppgavene «glir godt» mellom ulike fag, ting utføres i riktig rekkefølge og på en god måte (Ballard, 2000; Kalsaas, 2017). For å få til dette, ønskes det at de utførende blir med i planleggingen, slik at

innvendinger og innspill kan komme fra de som skal utføre arbeidet. Det er da en fordel at prosjektstrukturen er relativt flat.

Hos LPS er det satt strengere krav til at det som planlegges faktisk skal utføres, og PPU er ofte et viktig mål på dette. Planleggingsprosessen i LPS er derfor lagt opp til at det skal være fire forskjellige planer tilgjengelig, der de blir stadig mer detaljert jo nærmere man kommer prosessen. Det bør være relativt stor terskel for å forplikte seg til usunne oppgaver, som ikke kan fullføres i det tidspunktet oppgaven iverksettes. På den måten kan problemer oppdages og løses før de utvikler seg (Ballard & Tommelein, 2016). Bortsett fra enkelte prosjekt-milepæler er få tidspunkt satt på forhånd i forbindelse med når et arbeid skal starte. De forskjellige planene i LPS skiller mellom om de viser hva som bør, kan eller skal gjøres. Desto nærmere tidspunktet er for aktiviteten jo mer tydelig blir språket. Basert på Kolsaas (2017) brukes som regel følgende fire planer:

- **Hovedplan:** Viser hva som bør gjøres, og spenner over hele prosjektets byggeperiode. Inneholder milepæler som byggestart, tett bygg, ferdigstilling og andre viktige milepæler. Ikke så detaljert, men milepælene er ofte relativt fastsatte.
- **Faseplan:** Viser hva som bør gjøres, og viser som regel tiden frem mot første milepæl. Bindeleddet mellom hovedplanen og utkikkplanen. Møter der faseplanen blir utarbeidet bør ha med entreprenørene som skal utforme utføre arbeidet. Her kan kommunikasjon på tvers av fag skje, og milepæler flyttes om nødvendig.
- **Utkikkplan:** Viser hva som kan gjøres, og spenner som regel fra fire til seks uker. Produksjonskontroll er i fokus, og formålet med planen er å klargjøre aktivitetene, slik at aktivitetene har de nødvendige forutsetningene for å kunne fullføres; på denne måten unngås «making-do»-fenomenet (Koskela, 2004).
- **Arbeidsplan:** Viser hva som skal gjøres, og spenner som regel fra én til fire uker, og skal utarbeides tverrfaglig. Den mest detaljerte planen, og siste mulighet for å gjøre noen endringer. Detaljer ved prosessen kan diskuteres i fellesskap og på tvers av fag.

Et annet viktig moment i LPS er konseptet om kontinuerlige utvikling og forbedring. PPU er et verktøy i denne kontinuerlige prosessen og sammenlignes ofte ukentlig. Ved ikke-fulførte aktiviteter bør rot-årsaker analyseres, og det bør tilrettelegges for det ikke skjer igjen. Målet er å ikke gjøre samme feil flere ganger.

I tradisjonell planlegging vil arbeidsoppgavene gås grundig igjennom av en prosjektplanlegger på vegne av de som skal gjøre arbeidet, lenge før arbeidet skal ta sted. Ved at prosjektplanleggingsverktøy som kritiskvei-metoden ofte benyttes på et tidlig stadium, vil planen ofte bli for gammel og upresis når produksjonen skal utføres (Kalsaas, 2017). Dette er en del av det Koskela (2004) kaller for «making-do», der et arbeid startes selv om ikke alle nødvendige forutsetninger for å utføre en god jobb er tilstede. Som et resultat av at arbeiderene ønsker å opprettholde tidsplanen starter arbeiderene på oppgaver, selv om det ikke er optimalt, og prøver å finne en måte å løse vanskelighetene på. Dette defineres av Koskela som den åttende kategorien av «waste», og bør unngås hvis det lar seg gjøre.

### 3.13 Takt-planlegging

«Takt-planlegging» eller «Takt time» brukes ofte som et verktøy i LPS, men kan også anvendes alene. Det går ut på at de planlagte arbeidsoppgavene blir delt inn i arbeidspakker på et bestemt tidsintervall (se *Tabell 8*). Dette tidsintervallet er takten prosjektet skal gå i, og kan for eksempel være på fem arbeidsdager. For at arbeidspakken skal kunne fullføres i dette tidsintervallet blir prosjektet delt inn i passende store seksjoner. Seksjonene kan deles inn etasjevis, romvis eller på andre praktiske måter. For at det ikke skal oppstå konflikter og forsinkelser er det ofte svært viktig at fagene blir ferdige med sine respektive arbeidspakker. Eventuelle forsinkelser vil kunne gi en dominoeffekt som kan skape en uheldig situasjon. (Frandsen, Berghede & Tommelein, 2013).

**Tabell 8 - Eksempel på *Takt*-planlegging**

	Uke 1	Uke 2	Uke 3	Uke 4	Uke 5
Område A	El-arbeid	Indre vegger	Malearbeid		
Område B		El-arbeid	Indre vegger	Malearbeid	
Område C			El-arbeid	Indre vegger	Malearbeid

Fordelene med *Takt*-planlegging er at det gir en større forutsigbarhet for både prosjektledelsen og entreprenørene. Samtidig «tvinges» entreprenørene til å jobbe i den farten som kreves for at de ikke skal skape forsinkelser. Effekten av forsinkelse i eget arbeid har en konkret og synlig konsekvens. Planene blir ofte veldig oversiktlig og kan blant annet redusere variabilitet og gjøre prosessen mer transparent. (Kalsaas, 2017)

### 3.14 5S-metoden

*5S* er en forkortelse for fem japanske ord. På engelsk kan disse grovt oversettes til: sort, set, shine, standarize, sustain. Metoden skal sørge for en standardisert opprydningsprosess, og har vist seg å kunne effektivisere enkelte arbeidsprosesser. Metoden benytter *Lean*-prinsipper med fokus på å fjerne ikke-verdiskapende aktiviteter og forbedre flyt. Hensikten er at arbeiderne skal ha oversikten over hvor enhver artikkel befinner seg, slik at man bruker minst mulig tid på å lete etter verktøy eller utstyr. Metoden skal også legge til rette for transparens, slik at det gjøres enkelt å se hvor artiklene har sin naturlige plass. (Omogbai & Salontis, 2017)



# 4 Resultater

## 4.1 Intervjuutførelse

I *Tabell 9* finnes en kort oversikt over intervjudeltakerne som har deltatt i studien. Generelt er personene sorterte etter hvilke roller de representerer i et byggeprosjekt. De 14 intervjudeltakerne er delt inn i fire forskjellige generiske grupper: *E*, *P*, *BH* og *RA*. Her står *E* for entreprenørsiden, *P* for produsentsiden, *BH* for byggherresiden og *RA* for rådgiver og annet. Kategoriseringen har sine svakheter i det at selv om intervjudeltakerne representerer forskjellige roller i et byggefirma kan for eksempel *E2* og *P3* ha arbeidsoppgaver og ønsker fra byggeprosjekter som ligner mer på hverandres enn andre personer innad i sin gruppe. Hvilken rolle de forskjellige personene representeres kan også endres fra prosjekt til prosjekt. Byggeprosjekter er sammensatte og intervjudeltagere kunne også vært kategorisert på andre måter.

Lengden på intervjuene som ble holdt varierte, men vanligvis varte de litt over en time. Det er tatt utgangspunkt i den generelle intervjuguiden for hvert intervju, men med enkelte individuelle endringer basert på informantene. Forfatterne gjorde dette ettersom intervjudeltakernes roller i et byggeprosjekt varierer i stor grad. Med utgangspunkt i den generelle intervjuguiden ble noen spørsmål lagt til eller fjernet, samt noen spørsmål endret. De fleste av spørsmålene som ble stilt i intervjuene ble stilt til alle informantene. Før intervjuene ble foretatt fikk informantene tilsendt deres intervjuguide. Intervjuguiden inneholdt i utgangspunktet spørsmålene som skulle stilles, men det ble også stilt oppfølgingsspørsmål eller bedt om utdypninger der det var passende.

Intervjuene ble tatt opp, og senere transkribert. Deretter blir det transkriberte intervjuet tilsendt informantene. Samtlige intervjudeltagere har hatt muligheten til å gå over deres transkriberte intervju i ettertid. Forfatterne har deretter trukket ut informasjonen som er interessant for oppgaven, omskrevet den, og lagt kortversjonen inn i tabeller etter tema. Det er viktig å presisere at tabellene ikke inneholder direkte sitater. En svakhet ved dette er at svarene kan bli dratt ut av kontekst og feiltolket, men på en annen side kan det være enklere å sammenligne intervjuene til de ulike informantene. Enkelte intervjuobjekter har også sett over forfatterens gjengivelse av deres intervjuvar.

Plassbesparelse er prioritert, og derfor er det enkelte muntlige formuleringer i tabellene. Det er ikke et alltid et klart skille mellom temaene og derfor kan utsagn som tilsynelatende omhandler samme tema havne i forskjellige kategorier. Hvis informanter er fjernet eller ruter står tomme i en tabell vil det si at informanten ikke har svart på et spørsmål relatert til det tema. Intervjuobjektene *E1* og *E2*, samt *P2* og *P3* ble intervjuet sammen.

## 4.2 Intervjuobjekter

Tabell 9 - Intervjuobjektene som har bidratt, deres rolle i næringen og deres relevans for oppgaven.

#	Navn:	Stilling:	Firma:	Intervjudato:	Relevans til oppgaven
E1	Marius Hansen	Prosjektleder	Econor	09/03/2020	Prosjektleder for hos entreprenør som også bygger i massivtre. God innsikt i hvordan ulike materialer påvirker et byggeprosjekt.
E2	Magnus Andersen	Montasjeleder/ Prosjektleder	Woodcon	09/03/2020	Leder montasjen av massivtre-elementer. Jobber som en total-UE på massivtre-montasje og har tett dialog med produsent.
E3	Ronny Hegvik	Innkjøpssjef	HENT	24/03/2020	Som innkjøpssjef kan intervjuobjektet bidra med god innsikt i ulike byggematerialers markedssituasjon, egenskaper og pris.
E4	Maren Viken	Prosjekteringsleder	HENT	17/04/2020	Som prosjekteringsleder har man god innsikt i praktiske muligheter og utfordringer ved ulike byggematerialer.
P1	Rune Abrahamsen	Administrerende direktør	Moelven Limtre AS	12/03/2020	Administrerende direktør for Norges største limtreprodusent. Har omfattende kunnskap og erfaring fra bransjen.
P2	Bjørn Etnestad	Produksjonsleder	Moelven Limtre AS	12/03/2020	Produksjonsleder hos norsk limtreprodusent. Bidrar med innsikt i prosessene rundt element-produksjonen.
P3	Lars Ivar Lindberg	Montasjeleder	Moelven Limtre AS	12/03/2020	Arbeider med montasje av limtre-elementer på byggeplass. God innsikt i praktisk håndtering av byggematerialet.
P4	Kristine Nore	Forsknings- og innovasjonssjef	Splitkon	13/03/2020	Jobber ved Norges største produsent av KL-tre. Bidrar med god innsikt i produksjon og markedssituasjon.
BH1	Anette Dahl	Prosjektleder	Undervisningsbygg	31/03/2020	Representant for offentlig BH. Har jobbet med prosjektering før stillingen som PL. God innsikt inn i flere aspekter av byggeprosjekter.
BH2	Morten Marøy	Prosjektleder	Trondheim kommune	01/04/2020	Representant for offentlig BH. Har god innsikt i hvorfor massivtre velges, økonomi og hvordan byggeprosjekter påvirkes.
BH3	Hans Vidar Olsen	Prosjektleder	Omsorgsbygg	02/04/2020	Representant for offentlig BH. Har god kunnskap og erfaring, samt innsikt i BHs ønsker og prioriteringer.
RA1	Lars Erik Borge	Rådgiver, Byggherre	iTre	01/04/2020	Informanten har god innsikt i trematerialers egenskaper og hva som skal til for at et massivtre-prosjekt skal lykkes.
RA2	Bjørn Lier	Rådgiver, Tredriver	Trebruk AS	16/04/2020	Lang erfaring og god kunnskap med bygging i tre. Jobber som en del av tredriver-nettverket til Innovasjon Norge.
RA3	Bengt Michalsen	Bedriftsleder, Arkitekt	BGM Arkitekter, Hemato Eiendom, Massivtre AS	17/04/2020	Opptrer i flere stillinger og har mye erfaring. Bidrar med bred innsikt ved mange aspekter av markedet og næringen. Tidligere tredriver.

### 4.3 Markedssituasjon

Tabell 10 - Relevante uttalelser innenfor markedssituasjonen til limtre og KL-tre.

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	Man bør ikke regne med mindre enn ti uker fra bestilling til varene er på byggeplass. Håper det kommer mer massivtre ut fra norsk og svensk skog.
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	Vi bruker Stora Enso som leverandør, med to fabrikker i Østerrike som forsyner materialene. Skogen i Norge er sentvoksende, og derfor er det utfordringer med å øke lokal produksjon med hensyn på forvaltningstid og eksponerte overflater. Leveringstiden er rundt 10 uker fra ferdig prosjektmodell til levering. Konsernet Woodcon leverer rundt 20.-30.000 kubikk med ferdigmontert tre. Vi samarbeider ikke med Splitkon, ettersom det er en direkte konkurrent.
E3	Innkjøpssjef	Leveringstiden er noe høyere på massivtre kontra stål og betong-bygg, og modellen må låses tidlig. Det har vært eksplosiv vekst i markedet de siste årene, ettersom miljøfordelene ønskes. Mange aktører har lite erfaring.
E4	Prosjekterings- leder	Det varierer om leverandøren eller RIB prosjekterer bygget. Kostnadene gjør at vi kjøper massivtre fra Østerrike, men ønsker i utgangspunktet å kjøpe fra Norge.
P1	Administrerende direktør	Moelven Industrier har 3500 ansatte og er 50/50 norsk og svensk produksjon. Konsernet er 100% norsk eid. Moelven Limtre har 140 ansatte, og opererer kun i Norge. Fremover blir det en enorm økning i svensk produksjon av massivtre fra flere produsenter. Flere hundretusen kubikk høyere en projisert økning i etterspørsel i Norden, og flere må derfor sannsynligvis eksportere. Vi kjøper inn tysk/østerriksk/latvisk massivtre. Leveringstid er veldig prosjektavhengig. Selger en del trelast til Splitkon, men likevel importerer Splitkon limtre og Moelven importerer massivtre. Historikk mellom bedriftene vanskeliggjør samarbeid, som ellers kunne vært nyttig for begge parter.
P2	Produksjonsleder	Moelven Limtre leverer opp imot 25.000 m <sup>3</sup> med limtre i året. Rundt halvparten av mengden er standard-dimensjoner, og resten er spesial-dimensjoner og ordrebaserte leveranser. Leveringstid varierer fra rundt 3-4 dager til 3-4 måneder etter sesong og prosjekt.
P3	Montasjeleder	Trebygg er konkurransedyktige på pris gitt smarte løsninger.
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	Etterspørselen etter massivtre har vært eksplosiv de siste årene. Har planer om å produsere 25.000 m <sup>3</sup> dette året, og sikter på å øke produksjonen til 50.000 m <sup>3</sup> i fremtiden. Monterer og leverer ofte selv. Leveringstid er på rundt 12 uker. Splitkon og Moelven Limtre var konkurrenter tidligere. Firmaene ble fusjonert i en prøvetid på 5 år, men ble splittet opp igjen etter 3 år. Historien mellom selskapene står kanskje i veien for optimalt samarbeid.
BH1	Prosjektleder	Vi har miljøprofil om å redusere CO <sub>2</sub> -avtrykket på våre prosjekter. En av løsningene er å bygge i tre. Det må avgjøres om det skal bygges i massivtre før en anskaffer rådgivere. Det er fortsatt mange rådgivere som ikke har erfaring med massivtre. Massivtre-elementer har produksjonskø som avhenger av etterspørselen.
BH2	Prosjektleder	Store deler av produksjonen av massivtre foregår utenfor Norge. Trondheim kommune ønsker trebygg fra et klima og miljøperspektiv. Bygging i tre utløser ingen støtteordninger eller lignende.

BH3	Prosjektleder	Vi har brukt totalentreprise ved massivtreprosjektene jeg har vært en del av. Omsorgsbygg og Oslo Kommune har en miljøprofil, som gjør at massivtre blir prioritert. Har erfaring med at det ikke er dyrere med massivtre enn alternativene. Markedet har økt veldig for mer klimavennlige bygg. Materialer som kjøpes utenfor Norge må betales up-front.
RA1	Rådgiver, Prosjektleder	Det har blitt bygget mange studentboliger i massivtre tidligere, men i det siste har det vært en oppgang i de fleste andre bygningstyper også. Entreprenører har varierende kompetanse - noen sliter med å sende forespørsel til leverandør om pris, mens andre har full kontroll. Taket for produksjonskapasitet for massivtre i Europa ble nådd høst 2018, men nå er produksjonskapasitet økt slik den kan tilpasses etterspørsel. Leverandører har også kompetanse til å dimensjonere og effektivisere løsninger. Leveringstid gitt ferdigprosjektert grunnlag oftest mellom 4-12 uker, men det varierer med etterspørsel.
RA2	Rådgiver, Tredriver	Trebruk AS er en del av tredriver-nettverket til Innovasjon Norge. Studentsamskipnadene bygger 80-90% av prosjektene sine i massivtre. Finnes eksempel på anbud der tre-alternativet er vesentlig billigere - spesielt sykehjem og skoler. Pris er styrende for valg av produsent. Elementer med 1,20m bredde kan sjeldent konkurrere med store elementer på pris. En av de østerrikske produsentene (Binderholz) konkurrere allikevel i markedet med sitt 125-system. Større elementer gir vanligvis lavere kostnader, blant annet på grunn av festemidler og antall løft. Østerrikerne har mye god dokumentasjon, men det er ikke alltid tilpasset norske krav.
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	I forhold til etterspørsel er det stedsforskjeller i Norge. Det er enorm vekst i hele landet sett bort i fra Nord-Norge, der betongfirmaene står sterkt. Til tider usunn konkurranse. Importert massivtre kommer fra Østerrike, Tyskland, Sverige, Finnland og baltiske land. Transporten av massivtre er veldig punktlig - det er ikke alle vant med, men det er viktig for progresjonen i byggeprosjektene. Vi har en utrolig nøye tidsplan å følge, der vi setter opp montasjeteam basert på leveranser. Når traileren kommer kl 7:00 om morgenen har vi som regel 2 dager på oss til neste trailer kommer. Da skal alle elementer være ferdig monterte. Vi prøver å bruke så store elementer som mulig. Tror små elementer som er 1.20m brede vil forsvinne.

## 4.4 Fordeler og muligheter

Tabell 11 - Relevante uttalelser innenfor temaet fordeler og muligheter

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	All hulltaking er gjort før materialet havner på byggeplassen. Det finnes spikerslag over alt. Arbeidsprosessen gir et gjennomarbeidet grunnlag fra start. Det finnes flere standardiserte løsninger. Massivtre har klima og miljøfordeler. Det er bedre å jobbe i et massivtrebygg.
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	Millimeterpresisjon fra fabrikk. Byggetiden er mye kjappere. Massivtre har klima- og miljøfordeler. Folk kan være villige til å bruke mer penger på å bo eller jobbe i et mer miljøvennlig bygg.
E3	Innkjøpssjef	Millimeterpresisjon fra fabrikk. Mykt bygg med feste og spikerslag over alt.
E4	Prosjekterings- leder	Tidlig prosjektering gjør at ting ikke blir glemt. Tror ikke det tar lengre tid å prosjektere massivtrebygg. Vegger i massivtre er i ett sjikt og monteres raskt - kan være billigere enn mye arbeid. Massivtrebygg gir godt innemiljø, og byggematerialet kan kombineres med hybridventilasjon. Byggeprosjekter i tre er klimavennlige. Tre kan bearbeides videre. Raskere byggetid, og raskere tett bygg. Montering i fabrikk har HMS-fordeler.
P1	Administrerende direktør	Limtrekonstruksjoner kan ligne mye på stålkonstruksjoner. Veldig enkelt og ikke kostnadsdrivende å bøye limtrebjelker. Limtre har bedre brannegenskaper enn stål. Tre har klima- og inneklimate fordeler. Synlige treflater er en fordel. Det er veldig stor fleksibilitet i limtre-produksjonen med hensyn på hva som kan produseres.
P2	Produksjonsleder	Tre er et fornybart og grønt materiale. Stål må ofte beskyttes i større grad enn limtre brannsikkerhetsmessig. Formbart materiale, som kan lage nesten hva som helst med stor nøyaktighet. Stor fleksibilitet i produksjonen.
P3	Montasjeleder	Tre er et klimavennlig materiale. Kombinasjonen massivtre og limtre fungerer bra. Treprosjekter har ofte raskere byggetid. Treer forkuller ved brann, og mister ikke så mye bæreevne. Lett materiale, som blant annet gjør at kranene kan være mindre. Man kan spikre og skru rett i trematerialer.
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	Trematerialer har gode klima og miljøfordeler, og gir et stabilt inneklimate. Gode brannegenskaper. Millimeterpresisjon på produksjon. Tre isolerer godt. Bygging i massivtre gir godt arbeidsmiljø på byggeplass. Treprosjekter har ofte kortere byggetid.
BH1	Prosjektleder	Trebygg gir lavt CO <sub>2</sub> -avtrykk, og godt innemiljø med treets hygroskopiske egenskaper. Trebygg har rask montasjetid som gir tett bygg innen kort tid. Det er en stor fordel for UE at teknisk utstyr enkelt kan festes i massivtre-dekker og at hulltakingen har blitt gjort på forhånd
BH2	Prosjektleder	Klimaavtrykket er en stor fordel - hovedsakelig derfor Trondheim Kommune ønsker det. Tre bevarer sine lastbærende egenskaper i lang tid under brann, noe som gir tid til evakuering. Trebygg gir godt innemiljø, blant annet på grunn av treets hygroskopiske egenskaper. Synlig tre gir en lydabsorberende effekt. Tror at tre gir bedre arbeidsmiljø under bygging. Enkelte ganger kan det pæles mindre ved utrygg grunn på ettersom trebygg har lav egenvekt.
BH3	Prosjektleder	Trebygg har redusert klimautslipp, og gode inneklimate-egenskaper. Tre har høy varmeisolerende effekt. Ventilasjon kan gjøre bygg for tørre, men tre er hygroskopisk og minker den effekten. Tørre luft fører til at overflatematerialer blir uttørket tidligere, noe som kan føre til økte LCC-kostnader. Høyere luftfuktighet vil også gjøre at det føles varmere.

RA1	Rådgiver, Prosjektleder	Klimaavtrykket er lavere for trebygg. Tidligere prosjektering gir lavere usikkerhet. Trebygg har rask byggetid. Får lukket bygget tidlig. Trivelig byggeplass med lite støy. Godt og lunt innemiljø, både under bygging og etterpå. Tre brenner kontrollert hvis det tar fyr. Tekniske fag har spikerslag over alt og hulltaking er gjort på forhånd. Elementene er lette nok til at arbeid kan skje i etasjen under der det bygges.
RA2	Rådgiver, Tredriver	Treprosjekter har kort byggetid. Tre gir redusert klimautslipp, samt bedre innemiljø og arbeidsmiljø mens man bygger. Mye mindre energi går med på uttørking av tre med kun vifter enn med kokoverk for betong. Elementene leveres til byggeplass etter fastsatt plan og det styrer fremdriften- Treprosjekter kan bygges uten mye støy. Sjeldent dyrere med trebygg i forhold til andre løsninger.
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	Trebygg har lavere CO <sub>2</sub> -utslipp. Stor konstruktiv/bæreteknisk frihet. Trebygg gir bedre innemiljø. For eksempel har det blitt gjort et forsøk på St. Olavs med pasientrom i tre, der pasienter ble fortere friske, og et skole-forsøk i Østerrike der elevene fikk lavere puls. Veldig rask byggetid (60-70% av tiden til tradisjonelle byggemetoder). Fleretasjes hus, skoler, omsorgsbygg er billigere i tre. Kan kalkulere trebygg på samme måte som med andre typer bygg. Enkelte bygg er svært kostnadseffektive i massivtre.  (Intervjuobjektet refererer også til et dokument fra hans firma, som han sendte etter intervjuet var ferdig. Der ramses opp 17 fordeler ved bruk av massivtre. I dokumentet inngår fordeler som: fleksibilitet i bæring, kort byggetid, kuldebroegenskaper, klimagassutslipp, lagring av CO <sub>2</sub> , energieffektivitet, velværefølelse, lav egenvekt, kostnadseffektiv byggemåte, raskt tørt bygg, relativt værbestandig under montasje, fuktvandring, inneklimate, lite støv og stille byggeprosess. )

## 4.5 Ulemper og utfordringer:

Tabell 12 - Relevante uttalelser innenfor temaet ulemper og utfordringer

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	Trebygg er utfordrende og dyrt over 7-8 etasjer. Kan være utfordringer i forhold til nedbørmengder - da må treet få god nok tid til å tørke, før det kles inn. Relevante aktører må være mer påmeldt i prosjekteringen. God prosjektering er forutsetning.
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	Byggeprosjektets suksess er prisgitt god prosjektering, men grundig prosjektering skal skje tidlig er ikke et problem.
E3	Innkjøpssjef	Bruker kanskje lengre tid på prosjektering av trebygg. Hulltaking i ettertid kan gå ut over bæreevne, noe som senker fleksibilitet til byggeprosjekter i tre. Selve hulltakingen er faktisk enklere i tre enn i betong. Det er et kjøp i forbindelse med prosjektering. Lyd kan være utfordrende. Brann er ok.
E4	Prosjekterings- leder	Man må tenke på om veggen man jobber med blir synlig. Akustikk er det vanskeligste faget - tidlig prosjektering gjør det komplekst og har stor påvirkning på løsningene. Massivtre med dens fordeler er ikke nok for at vi på eget initiativ ønsker å bygge i massivtre. Det er som regel et kontraktsfestet BH-krav som er bakgrunnen for valget om å bygge i massivtre. Kostnader er et viktig aspekt. Inntrykk av at massivtre er dyrere - spesielt per kubikk.
P1	Administrerende direktør	Massivtre medfører stort forbruk av råmaterialer, og er ikke et spesielt materialeffektivt konstruksjonselement. Trematerialer tåler mye vann hvis endevenden ikke er eksponert - hvis endene er eksponerte er det en utfordring. Massivtre egner seg dårlig til svalgang eller balkong på grunn av fukt. Stål- og limtre dragere er cirka like dyre, men limtre tar mer plass. Massivtre-spenn på over 7-8 m blir for myke og dyre.
P2	Produksjonsleder	Fukt og eksponerte overflater er en utfordring.
P3	Montasjeleder	Trematerialer kan være fuktømfintlige - spesielt massivtre-elementer. Eksponert materiale kan skades under byggeperioden (for eksempel: skriving/tegning på eksponerte overflater, vinkelsliperarbeid og slagskader). For mye skriving kan føre til slitasjeskader hos arbeidere, og selv om det oppfordres til rotasjon gjøres det for sjeldent.
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	Tilbudsunderlagenes kvalitet og kompetanse hos de som skal montere elementene er veldig varierende. Massivtre fungerer dårlig som fasade (klimaklasse 3). Brann og lydkrav kan være vanskelige ved ønske om eksponerte overflater.
BH1	Prosjektleder	Hovedutfordringen med massivtre er knyttet til lyd. Flanketransmisjon er spesielt vanskelig. Løsningen inkluderer ofte store tykkelser og synlig massivtre kun på én side av veggen. Eksponert massivtre i korridor må brannimpregneres. Det er vanskelig å planlegge alle hulltakinger og det er ikke like enkelt å ta hull i ettertid. Blir mer kostbart/tidkrevende.
BH2	Prosjektleder	Massivtreprosjekter kan være noe dyrere. Må ha nok tid til å tørke ut før man går videre med maling, gulvarbeid og lignende. Det er utfordringer knyttet til lyd. Vanskelig å få til synlige massivtreflater der det er lydkrav - både til vegger og himling. Synlige flater kan bli utskjemte, men de kan de pusses. Store spennvidder ikke mulig/vanskelig.
BH3	Prosjektleder	Massivtreprosjekt krever veldig grundig forprosjektering. Det kan oppstå store sprekkdannelser ved fukt. Litt uenigheter i bransjen i forhold til brann - det trenges oppdaterte forskrifter. Synlige overflater kan være en utfordring. Det er vanskelig å skjule ting i bygget.



RA1	Rådgiver, Prosjektleder	Begrensninger med spennvidde. utfordringer med lyd - løses ofte med nedforet himling eller oppforet gulv (lydkrav til leiligheter er spesielt krevende). Store forskjeller i fuktnivå kan gjøre at treet beveger seg, og det kan skape sprekker. Fukt er ikke en stor utfordring hvis man lar vått massivtre tørke forsiktig ut uten tilført varme. Arbeiderne kan bli belastet ved mye skruing, og arbeidsoppgaver bør derfor rulleres.
RA2	Rådgiver, Tredriver	Yttervegger i massivtre gir høyere kostnader – fordelene er innemiljø. Mye skruing kan være tøft for arbeidere, og derfor er skifte av operatør viktig. Massivtre kan ikke settes på våt betong – må ha plast imellom. Lite dokumentasjon for entreprenør og rådgivere, og de må derfor finne ut mye underveis. Lydkrav kan være vanskelig - detaljer og gode konsulenter er viktig for godt resultat. Det burde vært finansiert større forskningsprosjekter for å finne gode godkjente løsninger.
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	Som arkitekt kan byggehøyder være en begrensning. Spennvidder kan også være en utfordring, men det finnes alltid en løsning – må ha kunnskap for å se mulighetene. Det er mangel på preaksepterte løsninger på brann og lyd. Det er en utfordring å få til kostnads-effektive lydløsninger. Byggforsk inneholder lite informasjon om massivtre. Må utvikle løsninger på egenhånd og teste on-site. Synlige overflater gjør at pussing og vasking av overflater må til hvis man ikke er forsiktig.

## 4.6 Økonomi og redusering av massivtre-prosjekters total kostnad

Tabell 13 - Relevante uttalelser innenfor temaet økonomi og redusering av massivtre-prosjekters total kostnad

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	Prosjektkostnad til massivtrebygg vil reduseres med mer erfaring, slik som studentboliger har gjort. Massivtreprosjekter har generelt dyrere innkjøp, men kortere byggetid. I harde innkjøp ligger massivtre kanskje 5-20 % høyere, men da har man ikke tatt med alle positive effektene i monteringen. I tillegg er ikke miljøvennligheten priset. Tekniske fag priser seg ikke lavere på massivtrebygg, men gjør nok det i fremtiden. Kun et tidsspørsmål før massivtre blir like billig eller billigere enn alternativene.
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	Arkitekters erfaring viktig for å redusere total kostnad. Bestem tidlig at bygget skal være i massivtre, og bruk løsninger som egner seg. Lyd er en kostnadsdriver - trenger gode løsninger. For å redusere total kostnad bør løsninger i forbindelse med lydkrav prioriteres. Hvis lyd er i orden er ofte brann det også. Entreprenørene og UE vil ikke prise like mye risiko i fremtiden som de gjør nå, og total kostnaden vil gå ned. BH bør se hvor mye den reduserte byggetiden er verdt med rigg, drift, kran, leieinntekter osv. Sammenlign tre måneder med bygging kontra tre måneder med fulle studentboliger. Som total underentreprenør på massivtre koster man normalt rundt 10-15% av prosjektets total kostnad.
E3	Innkjøps sjef	Det er viktig med planlegging fra dag én. Løsninger bør være tilpasset massivtre - eksempelvis spennvidde. Dekkekonstruksjoner er dyre/vanskelige. Preaksepterte løsninger kan være svært konservative, og derfor kan egne løsninger lønne seg. UE/tekniske fag priser seg ikke lavere i massivtrebygg enda (i forhold til stål/betongbygg), selv om det går fortere å gjøre samme arbeid. Det er viktig å fokusere på kostnadsbesparelser der det har mest effekt.
E4	Prosjekterings- leder	I massivtrebygg er ofte massivtrevegger der det ville vært lettvegger ved stål/betong, noe som kan være en kostnadsdriver. Akustikk mangler preaksepterte løsninger. Vanskelig å si hvordan kostnad skal reduseres utover at alle faktorene og hvordan de påvirker hverandre må bearbeides og vurderes nøye i prosjektering.
P1	Administrerende direktør	De tre-baserte dekkene drar volumer og pris. Betongdekker kan tilby vesentlig lengre spenn til mye lavere pris. Det er behov for gode trebaserte hulldekke-lignende konstruksjoner.
P2	Produksjonsleder	Ha fokus på bruk av gode etasjeskiller-løsninger. Verdt å merke seg at det ofte blir en høyere kostnad på festestål hvis løsningene rundt er billige eller dårlige.
P3	Montasjeleder	Det kan bli fryktelig mye skruing. Spikerslag og lignende koster mye penger og man må bruke mye arbeidskraft. Det handler om å ha smarte løsninger. Hver skrue kan koste hundrevis av kroner.
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	Prosjekters total kostnad kan reduseres ved bedre etasjeskillere. Det er behov for et hulldekke-lignende produkt. Produktet må løse utfordringer som store spennvidder, akustisk demping og brannbeskyttelse. Økt effektivitet og bedre utnyttelse av produktet kan også senke pris.
BH1	Prosjektleder	Det er viktig å ha kontroll på detaljene. Byggedetaljer og løsninger for sammenføyning bør økonomiseres. En samling av erfaringer og gode detaljer kan senke kostnad. Valg av brannkonsulent kan få stort utslag ettersom tolkning av forskriften varierer. Detaljer bør standardiseres - arkitekt og snekker har mye ansvar. Usikker på forskjell i driftskostnader på overflater av eksponert tre kontra gips.

BH2	Prosjektleder	Bør få mer produksjon til Norge. Det er som regel mange detaljer og grensesnitt som må prosjekteres. Entreprenørene kan montere massivtreet selv, men det krever litt. Økt etterspørsel etter massivtre vil senke pris på sikt. CO2-avgifter kan bli innført, noe som vil sørge for at tre blir mer prisgunstig.
BH3	Prosjektleder	Prissammenligninger med trebygg prosjektert ut ifra andre byggematerialer gir et skjevt bilde av sannheten. Flere skulle vært bevisst på kvalitetene og egenskapene ved lim- og massivtre. Kostnadene på ventilasjon etc. kan reduseres - ikke endret arbeidsmetoder på veldig lang tid. Ved kjøp av massivtre fra Europa må materialene betales «up-front». Det er en utfordring for entreprenørene som får mye utestående ettersom de får betalt når materialet er montert, og det kan dreie seg om 2-3 måneder.
RA1	Rådgiver, Prosjektleder	Det handler mye om erfaring og kunnskap. Riktig prosjektering for å nå lydkrav er viktig, da reduserer man ekstrakostnader forbundet med sylomer. Ikke alltid dyr overflate er nødvendig, kan være like fint med en røffere overflate. Viktig å bestemme seg for massivtre tidlig med tanke på byggets struktur og spenn. Tekniske fag må senke prisen på arbeidet sitt ettersom det jobbes mye raskere og hulltaking er tatt på forhånd – der har vi har erfaring med opptil 30% redusert timebruk.
RA2	Rådgiver, Tredriver	Hvis entreprenøren ikke har trygghet i kalkylen legges det på et risikopåslag. Ikke alle entreprenører er vant med å arbeide med massivtre. Montasje av teknisk utstyr går utrolig mye raskere, men prisreduksjonen har ikke kommet enda. UE tjener godt, og det er liten konkurranse - her er det mye å hente. Nå er det ingen krav til CO2-regnskap, men det kan komme. Økonomisk styrt prosjektering kan være en måte å senke total kostnadene på. Arkitekten bør ha kostnad i fokus fra start. Trebygg kommer til å bli billigere med tiden. Innføring av CO2-kvoter vil gjøre tre mer konkurransedyktig på pris, og det kommer nok i fremtiden. Det er sjeldent dyrere med trebygg, men såkalte signalbygg øker snittpris.
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	Referansepriser tar ofte utgangspunkt i bygg som er prosjektert med utgangspunkt i stål/betong-bygg. Rådgivere tar på seg massivtreprosjekt selv uten å ha erfaring noe som gir dyrere prosjekt. Det er kostnadseffektivt å komme seg tidlig inn i prosessen med en rådgiver som kan trebygg eller gå inn i en samspillentreprise med en produsent. Entreprenører legger på en risikofaktor fordi de har liten erfaring. BH og politikere bør ønske mer miljøvennlige bygg. Generelt vil kunnskap og erfaring senke pris.

## 4.7 Erfaringer og råd

Tabell 14 - Relevante uttalelser innenfor temaet erfaringer og råd til bygging i KL-tre

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utelukkende positive erfaringer med bygging i massivtre, innenfor visse rammegrenser</li> <li>• Arkitekt bør få oppgitt at det bygges i massivtre fra starten av.</li> <li>• Mye bygging av studentboliger i massivtre har gjort at løsningene har blitt mer standardiserte.</li> <li>• Treet tåler veldig mye fukt, så lenge det får tid til å tørke ut.</li> </ul>
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Det er i prosjekteringsfasen man legger grunnlaget for gjennomføringen – viktig med en flink og tydelig prosjekteringsledelse.</li> <li>• Vær sikker på at UE er ferdig med prosjekteringen.</li> <li>• Stor pågang hos massivtreproduksjon i fjerde kvartal ettersom mange byggeprosjekt ønsker tett bygg til jul/vinter.</li> </ul>
E3	Innkjøpssjef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viktig at kalkulatører kommuniserer med andre aktører og bruker løsninger som er rasjonelle.</li> <li>• Bæresystemet kan ikke bare endres fra eller til massivtre. Det berører så og si alle fag.</li> <li>• Massivtrebygg trenger voldsomt fokus og strenge krav i tidligfase.</li> <li>• Prosjektering av et massivtrebygg tar ikke lengre tid i totalt timebruk.</li> <li>• Viktig at sluttdato for prosjektering holdes av alle.</li> <li>• Stor fordel hvis deltagerene har vært med på massivtreprosjekter tidligere. RIB og arkitekt bør ha erfaring med massivtre.</li> <li>• Råbyggfasen er kritisk for prosjektsuksess.</li> <li>• Som entreprenør kan man få et konkurransefortrinn ved å binde seg til en leverandør, men det kan gå ut over oversikten over andre muligheter.</li> </ul>
E4	Prosjekterings- leder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• God dialog mellom entreprenør og BH er viktig for å sørge for kostnadseffektive løsninger. For eksempel: Aksepter BH synlige braketter? Hvor store kan de i så fall være?</li> <li>• Definer tidlig om bæringen skal være i massivtreet, og om det skal være massivtre i ikke-bærende innervegger.</li> <li>• Tekniske fag kommer tidligere på banen i massivtrebygg – enkelte detaljer prosjekteres et halvt år tidligere i byggeprosessen enn de er vant med.</li> <li>• Akustikk kan påvirke elementinndeling, og bør komme på banen tidlig.</li> <li>• Om veggen skal stå oppå gulvet eller ikke har mye å si for andre deler av bygget.</li> <li>• Det ønskes en oppdatering i Byggforsk vedrørende massivtre.</li> </ul>
P1	Administrerende direktør	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Det finnes mange støtteordninger og virkemidler for utvikling av treprosjekter.</li> <li>• Kunden bør bestemme seg tidlig for at det skal være et trebygg, og bruke løsninger som passer til tre.</li> <li>• Ikke smart å bruke stål/betong-løsninger på trebygg.</li> <li>• Entreprenører bør være åpne for å endre måten de jobber på når de skal bygge i tre.</li> <li>• Andelen limtre i forhold til massivtre i trebygg er veldig prosjektavhengig, men høye bygg har som regel større andel limtre enn lave bygg.</li> <li>• Tre tar opp vann i endeveden 30-40 ganger raskere enn fra sidene.</li> </ul>

P2	Produksjonsleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bygget bør være ferdig prosjektert når det startes.</li> <li>• Bruk ordentlige etasjeskillere der bjelken kommer inntil veggen.</li> </ul>
P3	Montasjeleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Det er ikke et problem at limtre og massivtre ikke kommer fra samme produsent.</li> <li>• Elementene må lagres i riktig rekkefølge.</li> <li>• Bygget bør være ferdig prosjektert når det startes.</li> <li>• Bruk løsninger som sørger for at det ikke blir overdrevent mye skruingsarbeid.</li> <li>• Logistikk og ryddighet er viktig på byggeplassen, og det bør ikke være for mange fag på samme sted.</li> <li>• Lag etasjeskillere der bjelken kommer inntil veggen.</li> </ul>
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombinasjonen limtre og massivtre fungerer bra, selv fra forskjellige produsenter.</li> <li>• Bør ha nok kompetanse når man skal arbeide med materialet.</li> <li>• Entreprenør og leverandør bør ha gode relasjoner.</li> <li>• Bygget bør være ferdig prosjektert ved byggestart.</li> <li>• Ønsker flere og bedre klimaregnskap på trebygg.</li> <li>• All håndtering kan skade elementene.</li> <li>• Gran har bedre fuktegenskaper enn furu.</li> </ul>
BH1	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viktig at bygget er godt nok prosjektert.</li> <li>• Arkitekten har stort ansvar i trebygg, og bør samarbeide godt med RIB/akustikk.</li> <li>• Det utarbeides soner hvor det kan tas hull, uten å gå ut over bæreevne.</li> <li>• Byggeleder bør ha erfaring med massivtre eller elementbyggeri.</li> <li>• Ikke bruk et montasjeteam uten erfaring med massivtre.</li> <li>• Bruk av massivtre må avklares tidlig i prosjektet.</li> <li>• Bør sørge for riktig uttørking av treet.</li> </ul>
BH2	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• UE ønsker i utgangspunktet å prosjektere sent i prosjektet.</li> <li>• BH jobber ganske likt på stål/betong og massivtre, men entreprenør og arkitekt må gjøre ting annerledes.</li> <li>• Var mer bekymret for fukt tidligere, men erfaring tilsier at det som regel er nok tid til uttørking fra tett bygg til male-arbeid starter.</li> <li>• Lov om offentlige anskaffelser kan gjøre tidlig involvering av entreprenør utfordrende, men det kan løses med konkurranse som vektlegger påslagsprosent.</li> </ul>
BH3	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BH jobber på samme måte ved stål/betong- og massivtre-prosjekt, men bør involvere seg mye.</li> <li>• Ønsker mer nytenkning blant tekniske fag.</li> <li>• For å få fleksibilitet i et massivtrebygg må det etterspørres på forhånd.</li> </ul>

RA1	Rådgiver, Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialet for bærekonstruksjonen bør bestemmes tidlig.</li> <li>• Å bygge med tre krever annerledes planlegging kontra betong. Å bygge med massivtre må gjøres med en høy nøyaktighetsgrad og alt må prosjekteres ferdig før elementproduksjonen.</li> <li>• Det er smart å bruke standardvegger med høyde 2.95 m, ettersom de fleste produsenter har det.</li> <li>• Å bygge med massivtre er forholdsvis enkelt, men vi ser store forskjeller og ofte er det et stort potensial i å effektivisere byggingen.</li> <li>• Ved spesielle brannkrav bør man være obs på valg av overflater og limtype.</li> <li>• Det er vanskelig å få god økonomi i bygget hvis man velger å fortsette videre med et trebygg som i utgangspunktet er tegnet for stål og betong. Viktig å tenke tre fra start og få riktig struktur på bygget.</li> </ul>
RA2	Rådgiver, Tredriver	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BH bør si ifra fra start at det skal bygges med massivtre.</li> <li>• Entreprenører og andre aktører ønsker helst gjøre det samme som tidligere for å unngå risiko.</li> <li>• Det er 10 år til 2030. For å nå klimamålene trenger Norge klimatiltak med umiddelbar utslippsreduksjon. Noe trebygg representerer.</li> <li>• Dokumentasjonen for lydkrav er ikke tilpasset trebygg. Både tester, utregning og dokumentasjon i trebygg er for lite oppdatert.</li> <li>• TEK 17 er ikke tilpasset trekonstruksjoner.</li> <li>• Tre isolerer bedre enn teoretisk U-verdi. Testens natur gjør at isolasjonsmaterialer som glassull og steinull overpresterer.</li> <li>• Entreprenører bør ikke forvente at trebygg er dyrere.</li> <li>• Rådgiverbransjen kom sent i gang. De er vant med stål/betong-bygg.</li> <li>• Det er viktig å bruke konsulenter som har erfaring med lyd i trekonstruksjoner.</li> <li>• Ikke bli helt låst på løsninger. Noen ganger kan det for eksempel lønne seg med en stålbjelke.</li> </ul>
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rådgivere er vant med å jobbe i stål og betong. Få har erfaring og forholder seg til gamle mønstre – gjelder for fag som brann, lyd og ventilasjon. Det kan være slitsomt og prege hele prosjekteringen.</li> <li>• Arkitekter som ikke har erfaring med massivtre bør teame seg opp med en rådgiver som har kunnskap og erfaring med trebygg.</li> <li>• Byggforsk sine detaljer inneholder ofte mange sjikt, noe som er dyrt å montere.</li> <li>• Som arkitekt bør man tenke tre fra første strek – viktig å ha kontroll på akseavstander og spennvidder.</li> <li>• Det tar ikke lengre tid å prosjektere i massivtre. Dette gjelder alle fag.</li> <li>• Massivtreprosjekter har punktlig logistikk – man kan ikke havne bakpå.</li> <li>• Til alle: lær dere mer om massivtre.</li> </ul>

## 4.8 Bruk av *Lean Construction*-verktøy og produktivitetmåling

Tabell 15 - Relevante uttalelser innenfor temaene *Lean Construction*-verktøy og produktivitetmåling

#	Rolle	Bruk av <i>Lean</i> -verktøy	Produktivitetmåling
E1	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruker <i>Takt</i> i byggefasen, og det fungerer utrolig bra.</li> <li>• Involverende planlegging – planlegger med UE fra start.</li> <li>• Har selv «black belt» i <i>Lean</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har akkordlønn på egne arbeidere.</li> <li>• Måler kun om planen møtes, men har mål om 100 % fullførelse av planlagte aktiviteter.</li> </ul>
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruker <i>Lean</i>-verktøy i mindre grad, men har detaljert fremdriftsplan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vi etter-kalkulerer brukte montasjetimer mot opprinnelig kalkyle. Dermed får vi se overtidstimer brukt for å holde fremdrift.</li> </ul>
E3	Innkjøpssjef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HENT bruker flere egenutviklede verktøy som stammer fra <i>Lean</i>.</li> <li>• Bruker verktøy som <i>Trimmet Anbud</i>, <i>Trimmet Gjennomføring</i> og <i>Trimmet Prosjektering</i>.</li> <li>• Bruker <i>Takt</i> i alle prosjekter under gjennomføring.</li> <li>• Bruker "Safran" i planleggingen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle aktørene på byggeplassen måler produserte timer. Det tas stikkprøver og kvalitetskontroller. En månedlig rapport sendes til BH.</li> </ul>
E4	Prosjekteringsleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Det brukes en slags <i>Last Planner System</i> under prosjekteringen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prøver å få til, men mye uforutsette ting som dukker opp i prosjektering. Utfordrende å finne en metode som er hensiktsmessig.</li> </ul>
P1	Administrerende direktør	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tilstreber <i>just-in-time</i>, men det er fordelaktig å ha en viss mengde materialer på lager. Har blant annet ferdigproduserte "nødvarer" på lager, som selges til høyere pris.</li> <li>• Bruker <i>5S</i> på verktøyrom.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vi måler limspenn per produksjonslinje og hvor mye løpemeter med fingerskjøt som produseres.</li> <li>• Måler stopptid og oppetid manuelt.</li> <li>• Tallene sammenlignes med egne måltall og andre aktører i konsernet.</li> </ul>
P2	Produksjonsleder		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Måler for produktivitet for maskinene</li> <li>• Bruker stopptidsregistrering.</li> </ul>
P3	Montasjeleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruker ikke <i>Lean</i>-verktøy i montasje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har en fremdriftsplan vi forholder oss til</li> </ul>
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nei.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja, primært volum produsert.</li> </ul>
BH1	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Noen entreprenører bruker <i>Lean</i>, spesielt hvis prosjektet bruker en totalentreprisemodell.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Får månedsrapport fra entreprenør med oppdatering på fremdrift og ressursbruk.</li> <li>• Har regelmessige BH-møter og byggemøter.</li> </ul>

BH2	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anser det som en entreprenør-oppgave.</li> <li>• Entreprenørene har blitt flinkere og flinkere til å bruke <i>Lean</i>.</li> <li>• Opplevd at entreprenørene har brukt <i>Takt</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fascinert av «<i>Earned Value</i>». Krever mye oppfølging, så det gjøres i svært liten grad.</li> <li>• Det rapporteres på Gantt-diagrammet hvordan man ligger an, som et estimat.</li> </ul>
BH3	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OBF bruker det ikke i eget arbeid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruker KPI for å vite hvordan prosjektet ligger an.</li> <li>• Får månedlige rapporter.</li> </ul>
RA1	Rådgiver, Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Takt</i> brukes ofte i massivtre-prosjekter.</li> <li>• Viktig å sette opp "toget" riktig.</li> <li>• <i>Lean</i> er omfattende og koster mye tid. Vi fokuserer på å stille de riktige spørsmålene.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har erfaringstall på hvor fort det går.</li> </ul>
RA2	Rådgiver, Tredriver	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nei.</li> <li>• Ikke sett det blitt brukt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ønsker en test som sammenligner arbeid i betong vs tre for tekniske fag.</li> </ul>
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har aldri brukt det.</li> <li>• Tror det brukes svært lite <i>Lean</i>, men det brukes en del BREEAM - spesielt i de store byene og prosjektene.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entreprenørene bruker produktivitetmålinger av og til, men sjeldent arkitekter.</li> </ul>



## 4.9 Oppnå flyt og øke produktivitet

Tabell 16 - Relevante uttalelser for hvordan god flyt oppnås i dag, samt øke produktiviteten i fremtiden.

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	<p>Vi har ekstremt fokus på å holde plan - hvis ikke må det jobbes overtid eller helg. Arbeidet skal være gjort ferdig og ryddet klart til neste fag innen tiden. Det er viktig med samhold og god kultur. Prøver å sørge for eierskap til prosjektet og godt samhold i stedet for dagmulkt eller annen pisk ved ufullførte arbeidsoppgaver. Problem som oppstår bør tas på lavest mulig nivå.</p> <p>Har <i>Lean</i>-tankegangen i fokus. Prøver å jobbe smartere og å skape kontinuerlig forbedring.</p>
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	<p>Bruker ofte elementer som er 2,95m brede, kontra 1,20m brede (begge er standardstørrelser). Større elementer gir lavere montasjetid, men er dyrere å produsere. Å montere elementer med 1,20m bredde tar minst 2,5 ganger lengre tid enn å montere elementer som er 2,95m.</p> <p>Jobber med effektivisering av innfesting, logistikk og elementinndeling. Viktig å huske at effektivisering også koster penger – det må ikke koste mer enn det smaker.</p>
E3	Innkjøpssjef	<p>Gjør aktivitetene skikkelig og i riktig rekkefølge. Prøv å unngå at man må tilbake for å gjøre noe på nytt. UE er med på planleggingen. Vi fokuserer på å mate de andre aktørene med info. Viktig å ikke la andre vente på deg.</p> <p>Fokuserer på å bruke arbeidet som er gjort i kalkulasjonsprosessen videre i innkjøp. Typisk vil en person fra kalkulasjonsprosessen jobbe med innkjøp hvis oppdraget blir kontrahert.</p>
E4	Prosjekterings- leder	<p>Vi har en oppstartssamling med alle de tekniske fagene før detaljprosjekteringen. Opptatt av å få til god metodikk og forbedres som gruppe. Internt sender vi også personer på blant annet VDC-kurs, for å øke kompetansenivået.</p> <p>Vi prøver stadig å få til bedre metodikk på det vi gjør. Har planer om å starte med produktivitetmåling.</p>
P1	Administrerende direktør	<p>Vi bruker <i>Lean</i>-prinsipper og fokuserer på inkrementelle forbedringer og medarbeiderdrevet innovasjon. Har investert i verktøyrom og utvidelse av produksjonshall. Fingerskjøtprosessen optimaliseres stadig mht. avkapp og styrke. I tillegg jobber vi med å organisere bjelkelageret.</p> <p>Vi holder på å innføre en programvare som skal registrere maskinens stopptid og oppetid. Har planer om å bytte ut forretningssystemet til et nytt system med sanntidsoppdatering av produktene i produksjonen.</p>
P2	Produksjonsleder	<p>Det er viktig å ha kontroll på at alt nødvendig underlag er mottatt, og at underlagene vi sender videre er komplette.</p>
P3	Montasjeleder	<p>Ønsker å gjøre ting mest mulig effektivt hele tiden, ettersom da går økonomien best også.</p>

P4	Forsknings- og innovasjonssjef	<p>Vi prøver å velge prosjekter som er enkle, men som krever mye volum. Det er vår produksjonsprosess svært egnet til. Fokuserer også på å stable elementene riktig før transport. Materialene ligger ikke på lager etter de er ferdige men transporteres med en gang.</p> <p>Ønsker å optimalisere produksjonsprosessen. Det er litt for mye svinn for øyeblikket. Flaskehalsen i produksjonen er CNC (småbit-fjerning).</p>
BH1	Prosjektleder	<p>Vi har byggemøter med entreprenøren, prosjekterende og BH i samme rom. Det gir stor verdi til prosjektet.</p> <p>Har mål om å bli mer produktive i fremtiden.</p>
BH2	Prosjektleder	<p>Utfører mulighetsstudier og skisseprosjekt før entreprenøren kommer på banen. Ønsker et interessefellesskap som gjør at BH og entreprenøren har de samme incentivene.</p> <p>Fokuserer på moderne gjennomføringsmodeller med samspill. Har også konkurranser der entreprenørene konkurrerer kun på påslagsprosent.</p>
BH3	Prosjektleder	<p>Vi har ganske regelstyrte byggeprosesser.</p> <p>Oslo Kommune har planer om å slå sammen foretakene og strukturere BH-prosessene. Vi bruker egne interne verktøy, og vi evaluerer prosjektene.</p>
RA1	Rådgiver, Prosjektleder	<p>Det brukes som regel god tid på å gjennomgå erfaringer, muligheter og forventninger. Vi løser mye av bygget på en oppstartssamling. Fokuserer på å ha god kommunikasjon.</p>
RA2	Rådgiver, Tredriver	<p>Fokuserer i hovedsak på god planlegging og logistikk. Det er meget viktig for elementbygg.</p>
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	<p>Har møter der vi går igjennom prosjekter cirka hver 14. dag, i tillegg til ved enkeltprosjekter. Fokuserer på å ikke sløse med timer.</p> <p>Vi evaluerer alltid prosjekter grundig, og prøver å lære hva vi gjorde riktig og hva vi kunne ha gjort bedre.</p>

## 4.10 Kommunikasjon og erfaringsoverføring

Tabell 17 - Relevante uttalelser innenfor temaene kommunikasjon og erfaringsoverføring

#	Rolle	Kommunikasjon	Erfaringsoverføring
E1	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• God kommunikasjon, men ikke stor forskjell fra andre typer bygg.</li> </ul>	
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• God kommunikasjon.</li> <li>• Vi reserverer kapasitet i produksjonen ved oppdragsstart, og har en kontinuerlig dialog.</li> </ul>	
E3	Innkjøpssjef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalkulatører bør generelt gå i tettere dialog med leverandør for massivtre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfaring blir ikke effektivt transportert til neste prosjekt.</li> <li>• Ønsker et oversiktlig digitalt verktøy som kan sørge for erfaringsoverføring mellom massivtreprosjekt.</li> </ul>
E4	Prosjekterings- leder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Som regel tilstrekkelig med kommunikasjon, men det varierer fra person til person, og det kan alltid bli bedre.</li> <li>• Kommunikasjon på engelsk er ikke en barriere, så lenge det er godtatt å ikke snakke perfekt teknisk engelsk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prøver å sørge for erfaringsoverføring mellom forprosjekt og byggeperiode.</li> <li>• En person fra kalkulasjonsteamet går som regel over til innkjøp i prosjektet.</li> <li>• Har ingen konkrete verktøy eller databaser som sørger for erfaringsoverføring, men prøver å møtes for å snakke sammen.</li> </ul>
P1	Administrerende direktør	<ul style="list-style-type: none"> <li>• God kommunikasjon i verdikjeden.</li> <li>• Hvis man skal kjøpe lim- eller massivtre av andre aktører, blir det mer agentvirksomhet og mindre direkte kommunikasjon.</li> </ul>	
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunikasjonen er varierende, men bør være god. Spesielt hvis aktører har lite erfaring med trebygg.</li> </ul>	
BH1	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usikker på om det er god nok kommunikasjon.</li> <li>• Har følelsen av at hver konsulent sitter litt i sin egen verden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Holz100</i> hadde tidligere detaljer og erfaringer på sin hjemmeside. Dette hadde vært veldig nyttig i dag.</li> </ul>
BH2	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunikasjonen varierer, men på noen prosjekter er det dårlig - noe som kan forverre eventuelle problem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har brukt den samme arkitekten på flere massivtrebygg.</li> </ul>
BH3	Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunikasjonen varierer. Utfordringen er å få de tekniske fagene til å</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har muntlig erfaringsoverføring</li> </ul>

		kommunisere god nok med hverandre og totalentreprenøren.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prøver å sette opp teamene smart i hvert prosjekt slik at det blir nok kompetanse.</li> </ul>
RA1	Rådgiver, Prosjektleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Det er varierende med kommunikasjon, men generelt bra mellom byggherre og entreprenør.</li> <li>• Kommunikasjon mellom arkitekt og RIB er viktig.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruker ofte samme arkitekter og rådgivere.</li> <li>• Hvert prosjekt starter med et oppstartsmøte.</li> <li>• Har en egenutviklet sjekkliste.</li> </ul>
RA2	Rådgiver, Tredriver	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entreprenørene bør ha en tettere dialog med produsent.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erfaring er ofte personbasert for entreprenører, men det hender seg at de har systemer for det.</li> <li>• Vi organiserer ofte kompetansedager der entreprenører får møte produsenter.</li> </ul>
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Føler det er god nok kommunikasjon.</li> <li>• Sørger for at det er tett kommunikasjon selv, og folk er ofte nysgjerrige på massivtrebygg.</li> <li>• Kommunikasjonen må skje tidligere ved massivtrebygg, siden hele bygget må være helt klart og ferdigprosjektert ved bestilling.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Har ikke software som sørger for det, men har god dialog.</li> </ul>

## 4.11 Ikke-verdiskapende elementer

Tabell 18 - Relevante uttalelser innenfor temaet ikke-verdiskapende elementer

#	Rolle	Intervjuobjektens relevante uttalelser
E1	Prosjektleder	Corona-viruset.
E2	Montasjeleder/ Prosjektleder	Det var mangel på produksjonskapasitet for massivtre i Europa høsten 2018. Sesongvariasjoner gjør at det er størst etterspørsel i 4. kvartal, og kapasitet bør derfor reserveres.
E3	Innkjøps sjef	Enkelte UEs hulltaking har blitt glemt eller misset pga. tekniske utfordringer. Hovedfokus på produksjon og effektivitet kan gjøre at arbeid som ikke har med produksjon blir nedprioritert. Unødvendige møter eller dårlige forberedelser til møter er ikke-verdiskapende.
E4	Prosjekterings- leder	Lydløsningene er ikke pre-akseptert. Akustiker må være tungt inne tidlig og se på spesifikke løsninger som må følges.
P1	Administrerende direktør	Kjøper cirka 1,3 ganger mer trelast enn det blir ferdig produkt av. Det meste av svinn er på grunn av høvling. Det er mye kjøretid mellom hallene i produksjonen, men det skal mye kjøring til for å rettferdiggjøre en investering på eksempelvis 100 millioner til en ny hall.
P2	Produksjonsleder	Urene bjelker er det mye jobb med.
P3	Montasjeleder	Det brukes få standardiserte løsninger, og ofte er det forskjellige løsninger mellom prosjekt eller innad i prosjektet.
P4	Forsknings- og innovasjonssjef	Det er om lag 40% svinn, og det er enkelte begrensninger i produksjonen med tanke på dimensjoner. Ved mellomlagring kan rekkefølgen på elementene endres, og det kan by på utfordringer. Vi har ikke optimal emballaseløsning - vann kan komme inn ved skadet plast. Produksjonsfeil kan skje.
BH1	Prosjektleder	Manglende detaljkunnskap om kostnadseffektive løsninger.
BH2	Prosjektleder	Kontraksstandarder med fast pris gjør at problem som dukker opp underveis blir ekstra vanskelige ettersom ingen vil ta ansvar. Der er samspillskontrakter bedre.
BH3	Prosjektleder	Det burde vært mer samarbeid. Bransjen trenger mer oppdaterte forskrifter ( <i>TEK17</i> etc.) for massivtrekonstruksjoner. Det skulle ha vært en enkel og standardisert måte å gjøre klimaberegninger på.
RA1	Rådgiver, Prosjektleder	Det finnes en liten språk- og kulturbarriere med å bestille fra Europa. Noe opplever det som enklere hvis produsentene har en norsk representant.
RA2	Rådgiver, Tredriver	Noen ganger må man skjære ut åpningene selv. Det kan finnes måter avkappet kan bli bedre utnyttet på.
RA3	Arkitekt, Bedriftsleder	Myndighetene skulle vært mer tydelige til hva som kreves mht. bærekraft. Ville sluppet mye unødvendig dokumentasjon og utredninger. Passive rådgivere kan være en utfordring. Det hender at rådgivere tar på seg oppdrag med massivtre uten å ha kunnskap eller erfaring.

## 4.12 Befaring av ZEB Lab på Gløshaugen campus, Trondheim.



Figur 13 - ZEB Lab. Illustrasjon: LINK Arkitektur (Hentet fra: Byggfakta, 2020a)

Tabell 19 - Prosjektinformasjon, Zeb lab

Type bygg:	ZEB-COM, 4-etasjers kontorbygg	Areal (BRA)	1800 m <sup>2</sup>
Byggestart	1. Mai 2019	Leverandør lim- og massivtre	Woodcon
Ferdigstillelse	1. August 2020	Kontraktssum	ca. 120 MNOK
Kontrakt	Samspillskontrakt	Relevante involverte: NTNU, SINTEF, Metier, Veidekke Entreprenør, LINK Arkitektur, Woodcon AS, Aas Jakobsen, Siemens, Sweco, Multiconsult, Oras Trondheim, Vintervoll.	

Forfatterne deltok på befaring av Veidekke sitt pågående prosjekt, ZEB Lab (se Figur 13 og Tabell 19) 25. februar 2020. Der ble de vist rundt byggeplassen av prosjektleder på byggherresiden. Omvisningen pågikk i underkant av én time. NTNUs prosjektleder besvarte forfatterens spørsmål underveis.

### Betraktninger fra prosjektleder

- Redusering av stålmengden i bygget har vært en prioritet. Etter omjusteringer og krav satt av byggherre, ble det gjort tiltak som fjernet rundt ett tonn med stålplater fra den opprinnelige prosjekteringen. Løsningene gjorde at enkelte søyleversnitt måtte økes betydelig.
- På grunn av massivtre-dekkene er rommene er prosjektert med korte spennlengder.
- Prosjektleder bemerker at han var imponert over hastigheten til de innvendige arbeidene, men kan ikke uttale seg om hvilken prising som UE har gjort på tilbudet til Veidekke.
- Ventilasjonen i bygget må prosjekteres ferdig før bestillingen av massivtre. Med hensyn til statikken er det vanskelig å ta hull i etterkant.
- Under montasjen vil treverket bli utsatt for sollys og regn, og det er derfor vrient å unngå gulning og fuktrenner. Det er mulig å unngå fukt, men sollyset vil uansett falme treet. Woodcon har derfor som fast prosedyre at de sliper synlige flater etter tett bygg. Prosedyren til Woodcon anses som kostnadseffektiv.

### Observasjoner vedrørende ryddighet og arbeidsmiljø:

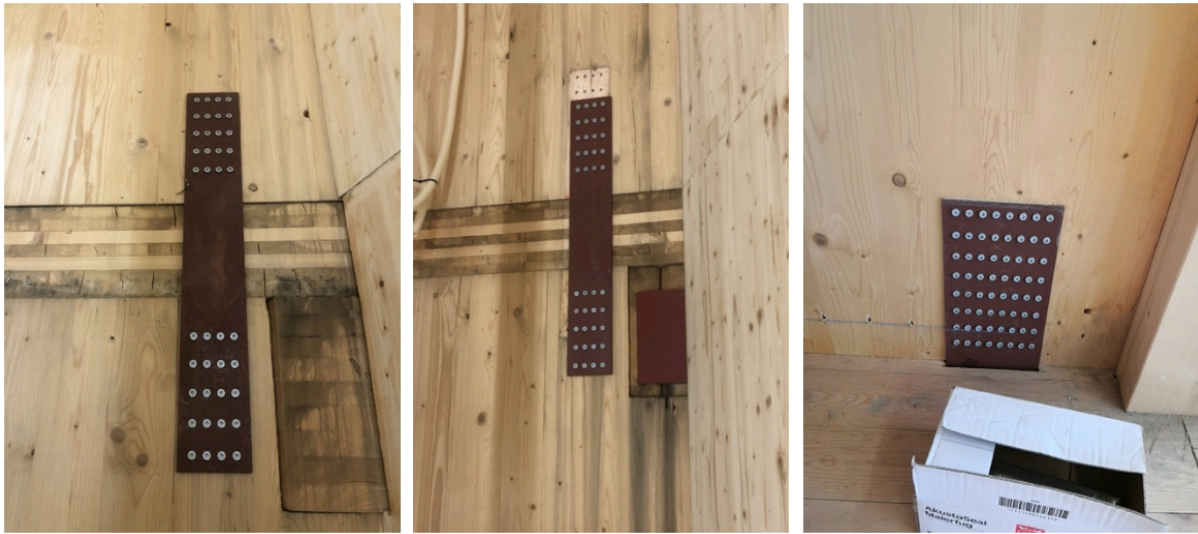
Byggeplassen var ryddig og godt organisert. Innendørs, ga eksponert massivtrevegger og limtre-søyler/bjelker et lyst arbeidsmiljø i kombinasjon med lysslynger som enkelt var hengt opp. Støynivået var begrenset, noe forfatterne har lagt merke til før besøket. De har hatt lesesalsplass i nabobygget, med vindu ut mot ZEB-lab, og har ikke vært plaget av støy fra prosjektet.

### Visuelle observasjoner



**Figur 14 - Slisset spor til festebrakett i limtresøyle (t.v. og m), samt bjelkekonstruksjon oppå søylen (t.h.) (Foto: Rasmus T. Vengen)**

*Figur 14* viser søylen av limtre med slisset spor til innfesting av stålskiven. Hvorvidt KL-trelementet til venstre i *Figur 14* er fuktig i randen mot betongpåstøpet, eller om det er grenseskillet mellom pusset og upusset treverk, kunne ikke forfatterne konstatere. Det midtre bilde prøver å vise tykkelsen på søylen, der tverrsnittet hadde blitt oppjustert på grunn av reduksjon i festestål. Til høyre viser hvordan bjelkekonstruksjonen hviler oppå søylen, samt etasjeskilleren. Etasjeskilleren viser mulighetene for innfesting av gjengestag til føringer over himling. KL-treveggen i samme bilde skal være eksponert, og det kan sees et tydelig skille der det gulnede treverket er pusset. Området øverst vil ikke være synlig, og er derfor ikke pusset.



**Figur 15 - Ulike festebraketter mellom KL-trelementer (Foto: Rasmus T. Vengen)**

*Figur 15* viser festeløsningen mellom to KL-tre veggelementer, med relativt store braketter og høyt antall skruer. Den midtre illustrasjonen viser at braketten har måttet bli festet på nytt. Årsaken er ikke kjent for forfatterne.



**Figur 16 - Sprekkdannelse i trappesjakt (Foto: Rune Kruse Måløy)**

Det ble observert sprekkdannelse mellom lamellene i trappesjakt, som vist i *Figur 16*. Årsaken til sprekkene er fuktrelatert, ifølge NTNUs prosjektleder.



#### 4.13 Omvisning på Moelven Limtre AS produksjonslokaler, Moelven.

Tabell 20 - Moelven Limtre AS

Hovedproduksjon	Limtre	Etablert	1959
Volum produksjon	ca 25 000 m <sup>3</sup>	Sted	Lundemovegen 1
Ansatte	140 pax	Operasjonsområde	Norge
Noen relevante referanseprosjekter: Mjøstårnet i Brumunddal, Finansparken i Stavanger, Vennesla bibliotek, Sognefjellshytta hotell			

Omvisningen på Moelven Limtre AS sin fabrikk foregikk 12.03.20, og ble gjennomført i etterkant av intervjuer med aktuelle aktører. Det ga forfatterne en økt forståelse i hva som kreves av prosesser for å produsere elementene, og hvordan fabrikken strukturerer og deler seg for å produsere generelt og prosjektspesifikt. Det totale inntrykket var at fabrikken var romslig og ryddig, med en produksjon under kontrollerte og strømlinje-formede forhold.

##### Visuell observasjon



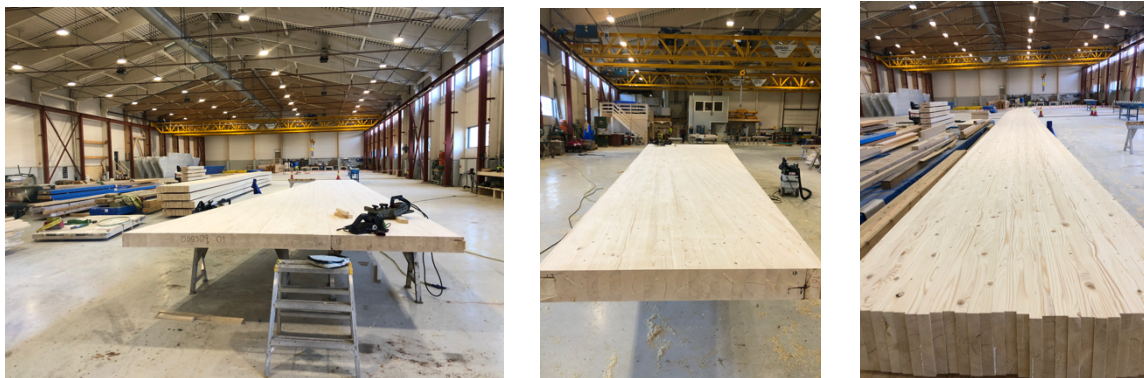
Figur 17 - Styrkesortering. (Foto: Rasmus T. Vengen)

Figur 17 viser den styrkesorterte trelasten som utgjorde en del av lagerbeholdningen. På det observerte stedet virket det ikke som videre sortering internt mellom numrene var prioritert. Det ble observert god plass i hallen til å manøvrere kjøretøy rundt.



**Figur 18 - Verktøyrom (Foto: Rasmus T. Vengen)**

Et tiltak som ble beskrevet under intervjuet av administrerende direktør, var den relativt nye investeringen i et verktøyrom slik *Figur 18* viser. Her tilstrebtes det å følge 5S-prinsipper. Formålet var å kunne strukturere og ordne alt av verktøyer slik at arbeiderene til enhver tid skulle kunne vite hvor de befant seg.



**Figur 19 - Spesialdimensjoner bearbeides i egen hall. (Foto: Rasmus T. Vengen)**

Etter å ha blitt vist produksjonslinjen for standarddimensjoner, fikk forfatterne observere bearbeiding av spesialdimensjoner, se *Figur 19*. Rommet var stort, rent og åpent. Elementene her bar preg av fleksibel utformingsmulighet. Det ble observert store løfteanordninger i taket for å forenkle flytting av elementene.

#### 4.14 Observasjon av prosjekteringsmøter, HENT Hovedkontor, Trondheim.



Figur 20 - Vestibulen til kommende Borgafjellet barneskole. (Illustrasjon: Os Kommune)

Tabell 21 - Prosjektinformasjon, Borgafjellet barneskole

Prosjektnavn	Borgafjellet barneskole	Lokasjon	Os, Bjørnafjorden
Totalentreprenør	HENT AS	Areal	7 200 BRA
Ferdigstillelse	Sommer 2021	Bærekonstruksjon	Massivtre og limtre
Stadium	Påbegynt gjennomføringsfase	Kontraktssum	Ca 290 MNOK

Innledningsvis i arbeidet med oppgaven fikk forfatterne besøke det pågående prosjektet Huseby skole. Prosjektet var kommet noe lenger enn det forfatterne hadde sett for seg, da bærekonstruksjonen allerede var reist. Etter samtaler med leder av montasjen ble forfatterne introdusert til mulighetene for å bli med på ukentlige prosjekteringsmøter på et annet prosjekt, Borgafjellet barneskole i Bergen (se *Figur 20* og *Tabell 21*). Dette førte til at forfatterne deltok på en passiv interaktiv observasjon. Det var planlagt at dette skulle foregå ukentlig i en periode fra februar til mai, men på grunn av Coronasituasjonen ble dette vesentlig innskrenket. Deltakerne fikk deltatt på to møter, og derfor må en være forsiktig med å generalisere informasjonen.

På forhånd dannet forfatterne seg tanker om hva om skulle bli observert (se *Tabell 22*).

**Tabell 22 - Faktorer for observasjonsstudiet**

Prosjektrelatert kommunikasjon	Fungerer prosjektmodellen?	Er alle nødvendige personer tilstede?
Ikke-verdiskapende aktiviteter	Flyt	Foregår det verdiskapende aktiviteter
Avbrudd	Er kompetansen på plass?	Forberedelser blant deltakerne
Er møteformen tilstrekkelig?	Formål med møtet	Tidsbruk

Fra observasjonsmøtene fikk forfatterne erfare viktigheten av en dyktig prosjekteringsledelse og evnen til å skape avklaring. I tillegg kom fordelene av BIM til syne gjennom en forenelig plattform for prosjektet, der kompetanse på tvers av landegrenser og byer kunne møtes og diskutere direkte. Forfatterne opplevde også at BIM og KL-treprosjekter virket å gå godt sammen, da blant annet elementinndeling og andre materialeegenskaper enkelt kom til syne. Kompetanse til å håndtere en slik modell må regnes som avgjørende for at den nødvendige effektiviteten skal opprettholdes. Forfatterne observerte viktigheten av en RIB som var trygg på tre som konstruksjonsmateriale, men det ble ikke observert deltakelse blant fag som akustikk, brann eller ventilasjon.

# 5 Diskusjon

## 5.1 Markedet for limtre og KL-tre

### 5.1.1 Markedssituasjonen i Norge

Det har vært en stor volumøkning i markedet de siste årene, veksten er vedvarende og en av de store hovedårsakene til dette er at miljøfordelene ønskes av flere (Trebruk, 2020). Regjeringen bevilger penger i statsbudsjettet til forskning på innovativ trebruk, som et tiltak for å erstatte mer klimaskadelige materialer (Regjeringen, 2018; Trebruk, 2020), men *BH2* hevder at bygging med tre i seg selv ikke utløser noen form for støtteordninger. Samtlige av de offentlige byggherrene (*BH1*, *BH2*, *BH3*) som har deltatt i denne studien har pekt på klima som hovedårsak til valget. Prognosen Trebruk la frem i 2017 for Norges utvikling i et bestefall-scenario, viste seg å samsvare relativt godt mot resultatet for det faktiske volumet som ble presentert i den oppdaterte rapporten for 2020 (Trebruk, 2020). *RAI* hevder at taket for produksjonskapasiteten i Europa ble nådd i 2018, men at det foregår en global satsning der utbygging av flere produksjonslokaler er med på å øke volumet av KL-tre i markedet og tilpasse etterspørselen. Den norsketablerte produsenten Splitkon har bidratt vesentlig til økningen gjennom sitt nyåpnede anlegg på Åmot, og sikter på å produsere opp mot 50 000 m<sup>3</sup> årlig (*P4*). De største produsentene har anlegg som kan produsere over 100 000 m<sup>3</sup> ferdige elementer i året (Imarc, 2017; Stora Enso, 2019), og er hovedsakelig operative gjennom produksjon i land som Finland, Sverige og Østerrike, med produsenter som Stora Enso og Binderholz. *PI* hevder resultatet av opprustningen og ekspansjon av produksjon kan føre til at markedet i Norden blir mettet, og at KL-tre derfor må eksporteres. Det kan tenkes at følgene av økningen i det globale produksjonsvolumet vil være en lavere pris på elementene, og således bidra til å gjøre elementene mer tilgjengelige.

Asplan Viak (2016) og Pöyry (2014) peker på at kostnadsøkningen som skjer gjennom verdikjeden fra «tre i skogen» til «ferdig element» er betydelig. Den norske skognæringen er mindre utviklet enn i nabolandet Sverige, blant annet gjennom skogsveinettet. *E2* hevder at Norge har et stort volum sentvoksende skog som fører til at lokal produksjon med hensyn på forvaltningstid og eksponerte overflater er vanskelig. Samtidig fører konkurranseregelverket Norge er en del av for at trelast, produkter, løsninger og byggekomponenter fritt kan hentes i EØS og resten av det globale markedet (Statsbygg, 2013).

### 5.1.2 Transport, risiko og logistikk

Transport av elementene har et utslag på klimaet. Det kan derfor argumenteres for at norskproduserte elementer har et lavere klimaavtrykk enn langreiste elementer fra andre steder i Europa, gitt at produksjonsutslippene antas like. Et vesentlig poeng er i mange tilfeller at disse elementene er billigere, og at produsentene har lave transport og logistikkostnader (Kittang, Narvestad & Nyrud, 2011). Således hevder *RA2* det er en direkte økonomisk konsekvens som styrer valg av produsent, og som vil utkonkurrere miljøgevinsten av kortreiste elementer i noen tilfeller. Dette støttes av *E4*, som opplyser at de normalt kjøper fra Østerrike, men at de helst ønsker å kjøpe fra Norge. Det kan også argumenteres for at langreiste elementer kan bidra til økt usikkerhet, da konsekvensen ved at en forsinkelse, feilprosjektering eller leveranseskade oppstår er større. Det kan dermed tenkes at lokal levering kan redusere risikopåslaget, men dette er en avveining man må ta i hvert enkelt tilfelle. Inntrykket er i stor grad at presis levering blant produsenter og leverandører kreves for å forbli en aktuell samarbeidspart i markedet, og at dette skjerper aktørene. *RA3* informerer om at det norske konservative byggemarkedet i flere tilfeller ikke er vant med den presise leveringstiden, og at de dermed ikke er forberedte når lass kommer på byggeplassen. Lagring øker sannsynligheten for skader og fukt i før de skal monteres (*P4*), og det kan tenkes at praktisk erfaring er dyrebar lærdom i så måte.

### 5.1.3 Leveringstid fra bestilling

Leveringstiden på KL-treelementer varierer med størrelsen på leveransen og produksjonskøen, men anslås av *E1*, *E2* og *P4* til omkring 10-15 uker fra prosjektmodellen låses. *RA3* hevder markedsituasjonen tenderer mot at større elementer er på vei til å utkonkurrere mindre elementer. De større elementene gir vanligvis en lavere kostnad i sluttenden, blant annet på grunn av færre innfestinger og færre løft med kran. En forskjell mellom limtre og KL-tre er blant annet limtreets delte produksjon mellom standarddimensjoner og spesialdimensjoner. Informant *P1*, *P2* og *P3* forklarte at de igjennom året konstruerer og produserer standarddimensjoner til lager for å bli solgt i sommerhalvåret. *P2* opplyser om at dette fører til at bjelker av standarddimensjoner kan bli levert på 3-4 dager, men et specialelement kan ta inntil 3-4 måneder, hvis det er produksjonskø. Således bindes en stor del av kapitalen i ferdige elementer. Ved kjøp av KL-treelementer hevder *BH3* at situasjonen er litt annerledes, der de utenlandske aktørene tar betalt før produksjonen starter. Dette binder igjen risiko og kapital for byggherre eller entreprenør, avhengig av kontraktsformen. Til sammenlikning, hevder *E3* at leveringstiden til betong og stål anses som noe raskere.

### 5.1.4 Inntrykk av kostnadsbilde

Informantene er noe uenige om i hvilken grad KL-tre er rimeligere i en markedssituasjon enn tradisjonelle byggematerialer. *E1* hevder KL-tre generelt er dyrere i innkjøp, og får støtte fra *E4*. *E1* hevder likevel at mange ikke medregner de positive konsekvensene av rask byggetid og uttrykker at det i totalen lønner seg. Inntrykket er likevel at det er et konkurransedyktig bæresystem i de «riktige» byggene. Særlig trekkes bruk av KL-tre i bygg med en forutsigbar struktur frem som svært rasjonelt, med påviste rimeligere resultater sammenliknet med kalkyler gjort i betong/stål. Dette være seg studentboliger, sykehjem og skoler (*E1*, *E2*, *RA1*). Studentskipnaden har de senere årene utført 80-90 prosent av prosjektene sine i KL-tre (*RA2*). Ettersom markedet fortsatt er ungt trekkes utvikling av kompetanse fra sentrale aktører frem som svært viktig i de kommende årene (Asplan Viak, 2016; Skog22, 2015; Byggfakta, 2019b). Det kan være gunstig å ta valget om KL-tre før anskaffelse av rådgivere, slik at rådgivere med erfaring og kompetanse fra prosjekter er med fra start (*RA3*).

## 5.2 Drivere for trebygg

### 5.2.1 Intervjudeltakernes svar etter hyppighet og kategori

Tabell 23 - Hyppigst nevnte fordeler og muligheter for bygging i limtre og KL-tre

Intervjudeltager	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>BH1</i>	<i>BH2</i>	<i>BH3</i>	<i>RA1</i>	<i>RA2</i>	<i>RA3</i>	Sum
Redusert klimautslipp	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
Godt innemiljø	X			X	X			X	X	X	X	X	X	X	10
Byggetid/tidlig tett bygg		X		X			X	X	X			X	X	X	8
Arbeidsmiljø/støy/HMS	X			X				X		X		X	X		6
Gode brannegenskaper					X	X	X	X		X		X			6
Spikerslag til montering	X		X				X		X			X			5
Materialets fleksibilitet				X	X	X								X	4
Byggematerialets vekt							X			X		X			3
Hulltaking ferdig	X								X			X			3
Presisjon fra fabrikk			X			X		X							3
Tidlig prosjektering	X			X								X			3

I *Tabell 23* vises en oversikt over de temaene som oftest ble nevnt av intervjudeltakerne i forbindelse med fordeler og muligheter for bygging med limtre og KL-tre. Det er viktig å presisere at tabellen kun representerer hyppigheten der svarene ble nevnt, og at det ikke kommer frem hvordan intervjudeltakerne har vektlagt fordelene og mulighetene. Det er også mange fordeler som kun ett eller to intervjuobjekter har nevnt, men som ikke kommer med på listen. Dette inkluderer fordeler omhandlende: synlige treflater,

isolasjonsegenskaper, lydabsorberende egenskaper, mykt bygg og vegger i ett sjikt. For et mer komplett bilde av intervjudeltakernes svar bør *kapittel 4.4 Fordeler og muligheter* studeres.

### 5.2.2 Klimagassutslipp

Hos de fleste av intervjuobjektene så pekes det på klimagassutslipp som en fordel i favør trebygg. Fra teorien i *kapittel 3.4.1 Klimagassutslipp* ser vi at flere forskjellige kilder hevder at klimautslippene til bæresystem i tre er vesentlig lavere enn for betong og stål, selv om resultatene fra de individuelle rapportene ikke bør dras for mye ut av kontekst. Det ser ut til å være den generelle oppfatningen til intervjuobjektene også. Hos BH-gruppen (*BH1, BH2, BH3*) pekes klimafordelene på som hovedfaktoren til at det velges trebygg over andre løsninger. Uttalelser relatert til byggets klimaavtrykk er ofte det første som nevnes når det spørres om fordeler og muligheter ved bygging i tre. Det virker som at det er konsensus for at limtre og KL-trebygg er mer klimavennlige, men få av intervjudeltakerne kvantifiserer dette eller sammenligner det med andre tiltak. Det er vanskelig å anslå hvor stor andel nybygg som hadde vært i tre om det ikke hadde vært konsensus for at limtre- og KL-trebygg representerer et vesentlig lavere klimagassutslipp sett i forhold til eksempelvis stål- og betongbygg.

Teorien vedrørende klimagassutslippene ser ut til å stemme over ens med oppfatningen til intervjudeltakerne. Etersom det er svært mange variabler som påvirker resultatene til de ulike rapportene, så bør man være forsiktig med å dra resultatene ut av kontekst. Det kan nettopp derfor være årsaken til at intervjudeltakerne ikke kvantifiserer eller sammenligner forskjellene med andre klimatiltak, ettersom det påvirkes av flere faktorer, som vist i Asplan Viaks rapport (Nordby, Solli & Dahlstrøm, 2015). Dessuten er det mulig å bruke faktorer og forutsetninger som er fordelaktige for å produsere et ønsket resultat. Det er også viktig å huske at hverken teorien eller intervjuobjektene tar for seg energibruk under bruksperiode, noe som kan ha et stort bidrag til det totale klimautslippet. Hvis bygget har en levetid på eksempelvis 100 år vil dette utgjøre et vesentlig klimagassutslipp, som potensielt kan overgå klimautslipp knyttet til materialer og byggeprosessen. En sammenligning av klimagassutslipp bør derfor skje på en standardisert måte og med rettferdige sammenligningsgrunnlag. Her kan ulike aktører ha vanskeligheter med å eniges, ettersom forutsetningene for utregningen kan ha store utslag på resultatene.

*PI* trekker frem at miljøvennligheten trebygg tilbyr, ikke har en økonomisk pris i dagens bransje. Det er heller ingen krav til CO<sub>2</sub>-regnskap (*RA2*). Dersom innføring av CO<sub>2</sub>-avgifter blir innført, vil det virkelig være en driver for økt trebruk (*BH2, RA2*). Byggherre og politikere bør ønske mer miljøvennlige bygg, som et positivt bidrag til reduksjon av klimagassutslipp (*RA3*).



### 5.2.3 Innemiljø

Innemiljø er den egenskapen som blir trukket frem nest oftest av intervjuobjektene når det blir spurt om fordeler og muligheter ved bygging i tre. Enkelte av intervjudeltakerene (*BH1*, *BH2*, *BH3*) peker spesielt på treets egenskaper som en viktig faktor for at det blir et godt innemiljø. Tre er et hygroskopisk materiale (Treteknisk, 2006) og har evnen til å ta opp og tilføre luften fuktighet. Med andre ord tar materialet opp fuktighet hvis luften er våt og gir fra seg fuktighet hvis luften er tørr (Glass et al, 2013). Denne effekten vil gi et sunnere og mer stabilt inneklima i følge *BH1*, *BH2* og *BH3*. Flere av intervjuobjektene er opptatt av at synlige overflater, og det kan tenkes at innemiljø-egenskaper ikke blir like fremtredende hvis treet kles inn. Det er heller ikke urimelig å anta at utseende og følelsen av eksponert tre er å foretrekke framfor eksempelvis gips, hvis brukerne ønsker å fremheve treets gode egenskaper. Dette i kombinasjon med utfordringer knyttet til forskriftene for akustikk og brann gjør at det er et skrikende behov for gode, enkle og repeterbare løsninger for enkelte byggedetaljer.

### 5.2.4 Byggetid og arbeidsmiljø

Både limtre og KL-tre produseres som regel elementvis. Store elementer kan lette på monteringsarbeidet ettersom en vesentlig del av arbeidet allerede er gjort på fabrikk. «Tett bygg» kan betegnes som en av de store milepælene for byggeprosjekt, og flere intervjuobjekter peker på at denne milepælen kommer tidlig for lim- og KL-trebygg. På det tidspunktet er bygget delvis tett, og byggematerialene kan begynne å tørke. Tett bygg tidlig er ønskelig for mange entreprenører for uttørking, HMS, ryddighet, produktivitet etc., men også fordi det er en viktig milepæl.

Med god planlegging og prosjektering kan byggetiden bli betraktelig lavere enn ved mer tradisjonelle byggemetoder. *RA3* hevder at trebygg kan ha ned til 60-70% av byggetiden sammenlignet med tradisjonelle byggemetoder. Intervjuobjekt *E2* sier at byggherrene bør se hvor mye den reduserte byggetiden er verdt med rigg, drift, kran, leieinntekter etc. Den korte byggetiden kan redusere entreprisekostnadene betraktelig, og gjøre at bygget kan brukes tidligere. Tre måneder med bygging bør sammenlignes med eksempelvis tre måneder med fulle studentboliger. Selv om dette kun er et tankeeksperiment har *E2* et godt poeng – det er vanskelig å sette et tall på hvor mye den reduserte byggetiden er verdt, med mindre det gjøres gode økonomiske analyser med enkelte antagelser. Det kan også argumenteres for at den reduserte byggetiden gir klimautslippsfordeler, men det er ikke nevnt av noen av informantene.

Seks av de fjorten intervjudeltakerne i *Tabell 23* peker også på arbeidsmiljø eller redusert støymengde som fordeler ved trebygg. Trebygg er myke (*E3*), slik at det ikke er behov for kraftig og høylytt utstyr for å

jobbe med materialene. Enkelte informanter hevder også at arbeiderne trives bedre i trebygg, og at det kan gi HMS-fordeler. Trebygg har redusert støymengde (*RA1, RA2*), og i noen tilfeller kan dette føre til at bygging kan skje på tider og steder der det ellers ville vært krevende på grunn av støyrestriksjoner. Det lave støynivået har forfatterne selv vært vitne til da Zeb Lab bygges utenfor kontorlokalet, uten å forstyrre nevneverdig.

### 5.2.5 Hulltaking, spikerslag, bæreevne og byggets fleksibilitet

Som regel bygges klassiske «massivtrebygg» med en kombinasjon av limtre og KL-tre (Edvardsen & Ramstad, 2014; Asplan Viak, 2016). Enkelt sagt er limtre et vesentlig sterkere konstruksjonsmateriale, men også vesentlig dyrere. Som regel er bjelker, søyler og dragere oppført i limtre og resten er oppført i KL-tre (*Trefokus, 2019*). *PI* poengterer at andelen limtre sett i forhold til KL-tre generelt sett øker med høyden på bygget. Intervjudeltakerne *E4, P1, P2* og *RA3* peker på fleksibilitet i materialproduksjonen eller i byggets utforming som en fordel for disse type byggene. Flere intervjudeltagere peker på mulighet for spikerslag som en viktig fordel (*E1, E3, P3, BHI, RA1*). Dette bidrar også til å øke fleksibiliteten til bygget. Spikerslag i vegger og tak kan ha mye å si for tekniske fag ettersom det kan spares mye tid og ressurser på festing av diverse utstyr.

Enkelte peker på fordelen av at hulltaking gjøres i elementene før de ankommer byggeplassen som en fordel (*E1, BHI, RA1*). Som enkelte intervjuobjekter nevner, har KL-tre fabrikkene spesialisert utstyr med millimeterpresisjon som tar hull der det er ønskelig, på en enkel og effektiv måte. De tekniske fagene som skal montere eksempelvis sprinkelsystem eller rør får dermed hulltakingen gjort på forhånd, ettersom prosjekteringen skal være tilnærmet ferdig når prosjekt-grunnlaget sendes til fabrikk. Dersom hulltakingen ikke blir gjort riktig på grunn av dårlig grunnlag eller misforståelser kan det by på problemer. En ulempe med KL-tre er at det ikke er et materialeeffektivt konstruksjonselement, noe som fører til stort forbruk av materialer (*PI*). KL-trelementenes konstruksjonsmessige egenskaper fører til at det vanligvis ikke er mye å gå på med tanke på bæreevnen til bygget. Dette kan minske byggets fleksibilitet, ettersom det blir vanskelig å foreta endringer i byggets struktur. Eksempelvis kan det være vanskelig å ta hull i bærende vegger eller øke belastningen på en bygningsdel, hvis bestillingen er sendt til produsent. *BHI* fremhever i sine erfaringer at det kan utarbeides soner hvor det kan tas hull, uten å gå ut over den strukturelle integriteten. Disse sonene bør identifiseres tidlig slik at prosjekteringen legger til rette for at det kan skje konstruksjonsmessige svekkelser i sonen. Det kan antas at denne typen fleksibilitet er en egenskap både eier og bruker setter pris på under byggeperioden - eller når bygget står ferdig. I så fall bør aktørene være oppmerksomme på at dette må prioriteres i prosjekteringen.

## 5.3 Barrierer for trebygg

### 5.3.1 Intervjudeltakernes svar etter hyppighet og kategori

Tabell 24 - Hyppigst nevnte ulemper og utfordringer for bygging i limtre og KL-tre

Intervjudeltager	E1	E2	E3	E4	P1	P2	P3	P4	BH1	BH2	BH3	RA1	RA2	RA3	Sum
Fuktutfordringer	X				X	X	X	X		X	X	X	X		9
Lyd/akustikk			X	X				X	X	X		X	X	X	8
Synlige overflater				X		X	X	X		X	X			X	7
Brann								X	X		X			X	4
Arbeideres slitasje							X					X	X		3
Mangelfulle forskrifter											X		X	X	3
God prosjektering er en forutsetning	X	X									X				3
Spennvidde					X					X				X	3

I *Tabell 24* over finnes en oversikt over hyppigheten til kategoriene som informantene nevnte i forbindelse med spørsmål vedrørende ulemper og utfordringer. Det er viktig å bemerke seg at tabellen kun er en oversikt over hyppigheten der forskjellige kategorier ble nevnt ved spørsmål om ulemper og utfordringer med bygging i tre. Dette gir ikke nødvendigvis et riktig bilde på hva informantene mener er mest krevende. Intervjudeltakerne kan også prate om andre hindringer i forbindelse med eksempelvis økonomi eller egne erfaringer. Ettersom det ikke er et klart skille mellom de forskjellige temaene kommer hindringen ikke nødvendigvis til å bli gjennomgått i dette delkapittelet. Ulemper og utfordringer som har blitt nevnt kun én eller to ganger er ikke inkludert i tabellen. Dette gjelder eksempelvis hindringer knyttet til: høydebegrensning, tidlig prosjektering, materialeeffektivitet eller byggets fleksibilitet. Hvis *Tabell 24* sammenlignes med *Tabell 23*, kan man se at det trekkes frem flere drivere enn barrierer for bygging i tre. Det utelukkes ikke at et eventuelt ønske om å sette treprosjekter i et godt lys har hatt en innvirkning på hvordan informantene har svart på intervju spørsmålene.

### 5.3.2 Fukt

Treteknisk (2006) presenterer treverk som et hygroskopisk materiale som tar opp og avgir fukt. I gjennomføringsfasen vil nedbør på byggeplassen føre til at treverket utsettes for fukt. Dersom fukten ikke får tid til å tørke ut, vil det danne grunnlag for sopp og råtevekst, og/eller påvirke de mekaniske egenskapene (Glass et al., 2013; Norske limtreprodusenters forening, 2018). *BH2* uttrykker at det derfor svært viktig å gi KL-treet god nok tid til å tørke ut før maling, gulvarbeid og liknende blir igangsatt. Erfaring fra bransjen tilsier likevel at fukt ikke regnes som en stor utfordring hvis man lar tørkingen skje

forsiktig uten å tilføre varme (*E1, BH2, RA1*). Sprekkdannelse kan oppstå, slik befæringsobservasjonene fra Zeb Lab viste. Spørsmål til hvorvidt sprekkdannelsen hadde påvirkning på integriteten til brann- og lydkrav vil ikke drøftes nærmere, men det konstateres at blant annet luftlekkasjer kan forekomme ved slike sprekkdannelse (Glass et al., 2013). Endeveden på KL-treet er spesielt utsatt for kapillært sug, som igjen vil gi svelling og misfarging (Gullbrekken & Elvebakk, 2018). Alle fire sidekantene i et KL-trelement inneholder endeved, og det kan derfor argumenteres for at limtre er mindre fuktømfintlig da det bare har to eksponerte sider (*PI*). Uansett, bør treverket unngå direkte oppfukting under transport og oppføring (Norske limtreprodusenters forening, 2015). Fukt kan være mulig å unngå, men under byggeperioden utsettes de eksponerte veggene for sollys, gulner og mister sin overflatekvalitet, slik det ble observert på befaring av Zeb Lab. Hvilken praksis leverandører har for å fremdrive det endelige resultatet, regnes som ulik, og forfatterne ble fortalt at Woodcon gjennomfører en konsekvent praksis der eksponerte flater slipes etter tett bygg. Denne praksisen regnes som kostnadseffektiv av prosjektlederen for NTNU. *P3* nevner også at gnister fra vinkelsliperarbeid, slagskader og skriving/tegning på eksponerte veggelementer er skader som forekommer. Enkelte aktører velger heller stor forsiktighet i utføringsfasen (*RA3*). Således virker det som om det finnes ulik argumentasjonen for å drive praksis med pussing i etterkant.

### 5.3.3 Brann og lyd

Ettersom bruken av tre som byggemateriale i høye konstruksjoner har økt, har dette resultert i at preaksepterte brann og lydløsninger har blitt utfordret (Reitan, Friquin & Mikalsen, 2019). Flere av intervjuobjektene peker på utfordringene rundt prosjektering av brann- og lydløsninger som noen av de mest fremtredende problemene med å bygge i tre, se *Tabell 24*. Bruk av KL-tre som bæresystem i bygninger i *brannklasse 3* er ikke preaksepterte i henhold til veiledningen til TEK17, og dermed må den prosjekteres analytisk da det ikke finnes en dokumentert løsning. *BH3, RA2 og RA3* fremholder at en oppdatering av forskriftene hadde vært gunstig. Barrierene som eksisterer i dagens bransje synes å ha betydelig innvirkning på prosjekters totaløkonomi (Structural Timber Association, 2014; Buchanan et al., 2014; Hoeller et al., 2017; Pagnoncelli & Morales, 2016). Et innemiljø med eksponerte treflater ses på som en stor kvalitet av flere, men flere av intervjudeltakerene fremhever flere utfordringer som medfølger (*E4, P2, P3, P4, BH2, BH3, RA3*). Brann og lyd nevnes spesielt. En løsning som har blitt vanlig i flere tilfeller er kompromisset der eksponering av én side av veggen blir gjeldende (Trefokus, 2011a), eller at korridorer brannimpregneres (*BH1*). På grunn av lettheten til materiale, er motstand mot lave frekvenser og flanketransmisjon vanskelig å ivareta (Homb, 2019; Edvardsen & Ramstad, 2014). Byggverk stiller ulike krav til lydtetthet gitt bruksområde, og *RA1* nevner ivaretagelse mellom leiligheter som spesielt anstrengende. Ved en gitt lydløsning gir også teorien uttrykk for at det er krevende å forutse det praktiske resultatet mot det

prosjekterte (Homb, 2019). *RA3* er enig i dette og utdyper at man i dag må utvikle løsninger på egenhånd og teste «on-site». Den vanligste praksisen er enten en nedforet himlingsløsning, oppforet golvkonstruksjon eller en kombinasjon. Et påstøp på et KL-tregulv vil begrense vibrasjonen og føre til at lydkrav i større grad ivaretas (Homb, 2019). SINTEF (2017) peker også på at en slik samvirkekonstruksjon i det fleste tilfeller inneholde mange sjikt for å fungere optimalt. Mange slike sjikt må antas å føre til flere arbeidsoperasjoner og en kostbar konstruksjonsdel (*RA3*), og dermed kan rasjonaliteten i dette diskuteres, og må klart regnes som en økonomisk barriere. Forfatterens inntrykk er at lyd fremstår som en større utfordring enn brann, og dersom *tabell 24* tas i betraktning underbygges den oppfatningen.

#### 5.3.4 Uvante problemstillinger i prosjekteringen og manglende kompetanse blant aktørene

TEK17 stiller strenge krav når konstruksjoner skal oppføres, og *E1*, *E2*, *BH3* uttrykker at byggeprosjekters suksess er et resultat av blant annet god og grundig prosjektering. For de utførende må suksess i denne sammenheng sies å være økonomisk motivert merverdi for de involverte, slik Eikeland (1999) beskriver det. KL-tre og limtre har andre strukturelle iboende egenskaper enn de de tradisjonelle byggematerialene (Brandner et. al., 2016), og flere av intervjuobjektene nevner derfor andre områder som krever spesielt fokus i prosjekteringen av høyere hus. *RA2* og *RA3* belyser problematikken med at rådgiverbransjen virker å ha vært bortskjemte med de samme strukturelle og tekniske løsningene i mange år. Prosjekteringsfasen, omtaler *E3* som svært hektisk av de involverte på utførersiden. *E4* og *BH3* beskriver på en annen side at prosjekteringsfasen oppfattes grundigere. Ettersom prosjektmodellen låses, slik Geier (2019) beskriver, fører det til at alle beslutninger må tas på forhånd og innskrenker fleksibiliteten i løsninger langt tidligere i prosjektforløpet. Hvorvidt dette er en fordel eller begrensning er individuelt, og kan avhenge av erfaringen til prosjekteringsgruppen og må knyttes mot kompetanse. *E4* hevder en tydelig dato kan være med på å drive alle aktørene samlet til et felles mål. Tidsbruken i denne fasen oppleves relativt lik som i et tradisjonelt prosjekt (*E3*, *E4*). Dessuten, trekker *P4* frem manglende kompetanse hos entreprenørene som en barriere i prosjekteringen, som resulterer i at tilbudsunderlagets kvalitet svekkes. Det må nevnes at modellen til Geier (2019) er utviklet utenfor Norge, og at en tilnærming tilpasset det Norske markedet kunne vært fordelaktig.

#### 5.3.5 Materialeegenskaper og montasje

*E4* uttrykker at valg av KL-tre som bærekonstruksjon, med dets fordeler, ikke er nok til at valget tas på eget initiativ. Videre utdypes det at i de aller fleste tilfeller er det et kontraktfestet byggherrekrav som er bakgrunnen for å bygge i KL-tre. Inntrykket om at KL-tre er dyrere enn det tilsvarende volum i betong, i en kombinasjon av fordyrende prosesser i det allerede harde konkurransemarkedet, må sies å være en av de klareste barrierene for å benytte materialet på eget initiativ. *P1* nevner materialeeffektivitet som en

svakhet, da eksempelvis limtrebjelker og KL-tredekker må ha større dimensjoner enn tilsvarende konstruksjonsdeler i stål og betong. Forbruk av råmateriale for å produsere limtre og KL-tre trekkes også frem som betydelig (Asplan Viak, 2016), selv om sagbruk og produksjonssteder i stor grad forsøker å utnytte biproduktene til andre formål (Pöyry, 2014). På grunn av treverks strukturegenskaper er spennvidder noe som skiller materialet tydelig fra betong og stål. Maksimal spennvidde for KL-tre kan være en hindring (*PI, BH2, RA3*), og det er derfor vanskelig å utforme store rom. På den andre siden argumenteres det heller for at en må ha kunnskap for å kunne se mulighetene i materialbruken før man avskriver det som barrierer (*RA2, RA3*).

Av andre begrensinger til valg av materiale trekkes *P3, RA2 og RA3* frem skruing av elementer som belastende. Det argumenteres for at rulleringer må praktiseres, men at dette gjøres i liten grad. Fra bildene tatt under befaringen av Zeb Lab, ble det vist braketter med 64 skruer per plate/brakett, noe forfatterne anser som en vesentlig mengde. *P4* uttrykker også at flere entreprenører møter på utfordringer i montasjen.

## 5.4 Økonomi i KL-treprosjekter

Det er gjort mange forsøk på å finne ut om bygging av høye hus i tre er kostnadseffektivt eller ikke, og flere velger derfor å sammenlikne det med tradisjonelle alternativer. Enkelte intervjuobjekter i dette studie poengterer at en slik prissammenligning, der trebygg prosjektert blir ut ifra andre byggematerialer gir et skjevt bilde av sannheten, og at referanseprisene ofte tar utgangspunkt i bygg som er prosjektert som stål- og betongbygg (*BH3*, *RA3*). Videre hevdes det at trebygg sjeldent er dyrere, men at andelen signalbygg som bygges i tre, får snittprisen til å øke (*RA2*). I denne diskusjonen vil det ikke gjøres en direkte sammenlikning mot andre konstruksjonstyper, men det nevnes der det finnes naturlig. Det vil særlig fokuseres på hvilke parametere som burde vektlegges for å øke indre og ytre verdi, slik Eikeland (1999) beskriver, i KL-tre og limtreprosjekter.

### 5.4.1 Innfasing av sentrale aktører tidlig

Et av de mest gjentakende rådene fra aktørene i bransjen for å redusere KL-treprosjektets total kostnad, er å velge bæresystemets byggemateriale tidlig (*E2*), og å planlegge for dette fra dag én (*E3*, *RA1*). Dette kan bidra til økt grad av indre effektivitet, da det gir anledning til å bruke et minimum av ressurser for å nå målet (Eikeland, 1999). MacLeamy-kurven som er illustrert av le Roux et. al. (2016) gir også et tydelig bilde av hvordan tidlig designfase har stor innflytelse på kostnadene i prosjektet. Dersom valget om KL-tre tas på et senere tidspunkt, er sannsynligheten større for at mange konsepter og idéer ikke vil kunne gjennomføres. *RA3* trekker også frem viktigheten av å tidlig involvere en rådgiver som kan trebygg, eller gå inn i en samspillskontrakt med en produsent. Dette erfarte forfatterne viktigheten av under passive observasjonsstudier, da kompetansen til RIB og prosjekteringsleder førte til stor grad av indre effektivitet. Litteraturen legger vekt på at riktig tidspunkt for innfasing av sentrale aktører er av stor verdi for å øke produktiviteten. Ved å se hen til Bygg21 (2015b) sin faseinndeling, kan det argumenteres for at tanken om tre som byggemateriale bør være tilstede allerede i steg 1 «Strategisk definisjon», i et bestefall-scenario. Sett i sammenheng med illustrasjonen til «den ideelle prosessen» fra *lean WOOD* prosjektet (Geier, 2019), kan dette hevdes med rimelighet. Når de utførende blir involvert avhenger av prosjektets kontraktsstrategi og gjennomføringsmodell (Lædre, 2006). *E2* trekker frem at arkitekters erfaringer er viktig for å redusere total kostnaden, og at økonomiske løsninger beror på hvorvidt en klarer å respektere begrensinger og utnytte fordeler i treverket. For å trekke en parallell til gjennomførte prosjekter, ble det i arbeidet på Moholt 50/50 gjennomført en åpen invitasjon for prekvalifisering av wildcard-arkitekter (Lien & Lolli, 2019). Etter den innledende arkitektkonkurransen med valgfritt bæresystem var ferdig, ble det bestemt, etter innspill fra tredriverne, at bygget skulle oppføres i KL-tre. På den måten ble bæresystemet bestemt før den endelige arkitektkonkurransen, noe som legger til rette for at arkitekter med erfaring og kunnskap med bygging i

tre kan velges. Rådene som er hentet inn fra *E2*, *E3* og *RA1* peker i retning av at å velge tre allerede fra startfasen, vil føre til at en har bedre tid og mulighet til å utvikle løsninger som er tilpasset KL-treet, og følgelig en mer økonomisk prosjektering. Dette må sies å stemme ut ifra prosessmodellen til Geier (2019) og MacLeamy-kurven (le Roux et. al. 2016).

#### 5.4.2 Entreprenørens rolle og innkjøp av varer og tjenester

For at prosjektets totalkostnad skal reduseres må entreprenørene ha trygghet i kalkylene sine og redusere risikopåslag (*RA2*, *RA3*). Flere er trygge på at prosjektkostnadene vil reduseres med mer erfaring (*E1*, *E2*, *E3*, *RA2*, *RA3*). Dette har vist seg gjeldende for studentboliger i KL-tre, og flere strekker seg så langt som å hevde at det ikke bare vil bli konkurransedyktig, men til og med bli rimeligere enn alternativene (*E1*, *RA2*). Samspill mellom aktører i verdikjeden, gjennom kostnadseffektive leveranser anses som et bidrag til god prosjektøkonomi og økt grad av indre effektivitet (Eikeland, 1999). Spørsmålet om entreprenøren bør montere selv, eller kjøpe hele leveransen må sies å avhenge av entreprenørens erfaring, trygghet i egen logistikk og kvalitet i tømmerarbeider. *E1* gir uttrykk for at prosjekter kan ligge 5-20 % dyrere på harde innkjøp enn i tradisjonelle konstruksjoner, men da er ikke de positive faktorene, som eksempelvis hurtig montasje, medregnet. *E2* peker på at i tilfeller der de går inn som en total underentreprenør for KL-tre ligger deres kostnader på mellom 10-15 % av prosjektets totalkostnad, og argumenterer for at valg av KL-treleverandør i seg selv potensielt ikke er så drivende for den totale prisen på prosjektet. Ved kjøp av KL-tre fra Europa må materialene betales «up-front» (*BH3*). Det kan være en utfordring for entreprenørene som binder kapitalen sin, da de får betalt når materialet er montert. Dette kan dreie seg om 2-3 måneder (*BH3*).

*E4* nevner at KL-trebygg ofte gjennomføres med massive elementvegger der det ville vært satt inn en lettvegg/bindingsverksvegg med tradisjonelle materialer. Overflødig bruk av materialer kan sees på som en kostnadsdriver, men det kan også være et bevisst valg hvis byggherre ønsker enkelte av treetts egenskaper. Hvorvidt det er lønnsomt i en montasjesammenheng å heise inn de prefabrikkerte elementene direkte eller å plassbygge med mindre materialbruk, men med økt tidsbruk, antas å være prosjekt- og situasjonsavhengig. En kan argumentere for at logistikken forenkles med et homogent byggesystem, men på den andre siden fører det til at flere elementer håndteres under montasjen. Dersom veggen uansett må kles på én side som et akustikktiltak slik *BH1* beskriver (og Trebruk (2011a) viser), taler dette imot å benytte ekstra materialer. Hvis eksponert tre er argumentet for å benytte elementene på ikke-bærende konstruksjonsdeler, kan dette gi økt ytre effektivitet slik Eikeland (1999) definerer det. Økt indre effektivitet gjennom industrialisert produksjon (Eikeland, 1999), må sies å oppnås best tilfellet der det er



størst grad av prefabrikasjon, nemlig ved montasje av KL-tre. Utskjæringene for vinduer, dører og andre utsparinger representerer et materialavfall, og et fokus på å finne bruksområder for disse «biproduktene» kan være fordelaktig sett med økonomiske og miljøvennlige øyne. *RA1* legger også til at dersom byggherren ønsker fin overflatekvalitet på materialene vil dette koste mer enn «røffe» overflater, men overflater med lavere kvalitet også kan være estetisk pent i mange tilfeller. Om det er forskjell på driftskostnader knyttet til eksponert tre i forhold til gips er usikkert (*BH1*).

I dagens marked priser de tekniske fagene seg likt uavhengig av bærekonstruksjon, og det antas at de tjener godt på dette (*RA2*). Enkelte intervjuobjekter peker på utgifter relatert til tekniske fag som et sted der det potensielt kan spares penger nå, eller i fremtiden (*E1, E2, RA1, RA2*). Andre informanter peker på spikerslag for tekniske fag som en fordel uten nødvendigvis å trekke frem den økonomiske besparelsen dette kan gi (*E3, P3, BH1*). *RA1* underbygger dette ved å argumentere for at deres tidsbruk er betraktelig redusert i trebyggerier da det finnes festemulighetene er overalt og alle utsparinger er tatt. Verdiskapningen som skjer for de tekniske aktørene i dagens KL-tremarked må derfor anses som gode. Entreprenører og underentreprenører antas å prise risikoen lavere i fremtiden, og det eksisterer en felles tanke om at dette vil skje ettersom flere aktører vil tilegne seg erfaring, og følgelig kunne utfordre hverandre på pris (*E1, E2*). *RA1* opplyser om at de i enkelte tilfeller har opplevd en redusert timebruk for tekniske fag på opp mot 30 %.

#### 5.4.3 Prosjektering med fokus på økonomiske løsninger og rasjonelle konstruksjonsdeler

*RA2* vektlegger også spesielt økonomisk styrt prosjektering blant arkitektene som god måte å senke total kostnadene på. *E3* mener noe lignende, ettersom han hevder at det er svært viktig å fokusere på gunstige løsninger på steder det er *mest* å hente. Dette innebærer følgelig å redusere kostnader på større utgiftsposter. *E4* legger til at byggedetaljer kan gi utslag andre steder. Kunnskap om påvirkningsgrad og sammenhenger, samt evnen til å bearbeide løsninger anses som verdifullt i prosjekteringsprosessen. *BH1* legger i tillegg vekt på at løsninger bør standardiseres, og at ansvaret i stor grad ligger på snekker og arkitekt. Dette støttes av Eikeland (1999) som fremmer standardisering som veien til å øke indre effektivitet, samt Koskela (1992) som ønsker å redusere variabilitet. I dagens praksis er det mange grensesnitt og detaljer som må prosjekteres hver gang (*BH2, RA3*). Her er det sentralt å involvere kompetente rådgivere på KL-tre, men en har sett en tendens til at rådgivere uten erfaring også tar på seg prosjektene. Dette kan gjøre løsningene dyrere. Blant konstruksjonsdelene som nevnes, er det særlig dekkekonstruksjonene som finnes vanskelige, og drar opp volum og pris (*PI*). Rasjonaliteten i å velge tre fremfor stål og betong må derfor kunne diskuteres. *PI* uttrykker at dekkekonstruksjoner i betong kan lages

med vesentlig lengre spenn og til en lavere pris, sammenliknet med KL-tre. *P1* trekker videre frem at bransjen trenger å løse dette ved å utvikle gode hulldekke-liknende konstruksjoner i tre. Dette holder *P4* med i, og tilføyer at hulldekkeproduktet må løse utfordringer som store spennvidder, akustisk demping og brannbeskyttelse. *E3* trekker dessuten frem at de preaksepterte løsningene som følger med dekkekonstruksjonene er svært konservative, slik at egenutviklede løsninger kan lønne seg.

### **Lyd og brann**

Som nevnt i diskusjonskapittelet «ulempen og utfordringer», er akustikk en kostnadsdriver. Tilfredsstillelse av lydkrav etter dagens standard vil føre til økte kostnader (Structural Timber Association, 2014; Buchanan et al., 2014; Hoeller et al., 2017; Pagnoncelli & Morales, 2016), og det kan derfor argumenteres for at tilfredsstillelse på en økonomisk måte anses som svært verdifull. *RAI* vektlegger at god lydprosjektering ofte vil kunne redusere bruk av sylomer, som er kostbart. Slike kvalitetsavvik som må rettes, må ses på som lav grad av indre effektivitet (Eikeland, 1999). *E2* peker imidlertid på at oppfyllelse av lydkrav ofte medfører oppfylte brannkrav i tilslutning til dette. Valg av brannkonsulent kan få svært forskjellige utfall, ettersom analytisk prosjektering og tolkning av forskriftene varier. Reitan, Friquin & Mikalsen (2019) understreker i sin rapport utfordringene som følger med mangelen på dokumenterte løsninger. Brannkonsulenter med erfaring må derfor også regnes som verdifullt.

### **Innfestingsdetaljer**

*P2* og *P3* enes om at innfestingen av elementene bør ha økt fokus, da økte kostnader på festestål svært ofte står i sammenheng med billige eller mindre gjennomtenkte løsninger. Prisen på ulike typer festestål og skruer kan sammen utgjøre en betydelig del. Samtidig forsvinner noe av den sentrale miljøgevinsten i trebygg ved å måtte benytte større mengder stål og braketter. En økonomisering av sammenføyninger og en samling av erfaringer med gode detaljer kan senke kostnadene (*BHI*). Under befaringen av Zeb Lab ble dette også observert og forfatterne ble gjort oppmerksomme på at mengden festestål var redusert med nesten ett tonn etter nøye gjennomarbeiding av det første løsningsforslaget. Selv om tiltaket i hovedsak ble gjort som et klimatiltak, kan smarte og gjennomarbeidede løsninger for å redusere festestål også assosieres med økonomi. Følgene av den reduserte stålmengden gjorde at enkelte søyleverrsnitt måtte økes. Hvorvidt dette drev opp den totale prosjektkostnaden er ikke klart for forfatterne.

#### 5.4.4 Forfatternes betrakninger

Det er naturlig å anta at andelen nybygg som blir bygget i tre kommer til å øke dersom den prismessige konkurransedyktigheten forbedres. Byggeiers gevinst ved en tidligere ferdigstillelse, bør ha innvirkning for hvordan totalkostnaden til prosjektet vurderes. I ytterste konsekvens kan det utgjøre eksempelvis tre måneder med ekstra leieinntekter, sammenlignet med tre måneder med rigg- og driftskostnader knyttet til byggeprosjektet. Det kan også tenkes at klima- og miljøfordelene som trebygg representerer kan bli priset høyere av prosjekteier i fremtiden, eller av myndigheter i form av CO<sub>2</sub>-avgifter. Oppdaterte byggetekniske forskrifter og flere dokumenterte byggedetaljer med KL-tre kunne bidratt til å senke treprosjekters totalkostnad. Etersom det mangler gode preaksepterte løsninger, går dagens praksis i stor grad ut på at rådgivende ingeniører produserer en løsning basert på den gitte situasjonen. Spesielt stort er behovet for kostnadseffektive etasjeskiller-løsninger, og andre dokumenterte byggedetaljer som tar vare på lydkrav.

### 5.5 Informanenes erfaringer og prosjektstrategi

I dette avsnittet vil råd og erfaringer som intervjuobjekter har trukket frem bli diskutert. Erfaringene og rådene vil bli drøftet mot hverandre og sammenlignet med litteraturen. Flere av intervjuobjektene snakker løst om *faser*. Hvilket tidspunkt aktører fases inn i prosjektet avhenger blant annet av prosjektets kontraktsform og gjennomføringsmodell. I tillegg har begreper som «tidlig», «sent» og «slutt» blitt hyppig brukt av informantene, som kan være noe upresist. Utsagn vil derfor forsøksvis veies inn mot «Tabell 7 - Gjennomføringsmodell av bygg- og anleggsprosjekter for kjerneprosessen», hentet fra Bygg21 (2015b). Samtidig vil den sammenliknes med «den ideelle prosessen» slik *leanWOOD* har beskrevet den for gjennomføring av KL-treprosjekter, der det finnes nødvendig.

#### 5.5.1 Strategisk definisjon

Det er bred enighet blant intervjugruppen (*E1, P1, BH1, RA1, RA2*) for at kunden bør bestemme seg tidlig for at det skal bygges i tre, slik at det så tidlig som mulig kan utarbeides løsning for dette. Det kan stilles spørsmål med hvorvidt dette steget er for tidlig, men ettersom Bygg21 (2015b) hevder at eierens mål og ambisjoner bør defineres i dette steget kan en argumentere for at tanken om trebygg allerede kan vokse her. Dette beror potensielt på variasjon i erfaring hos byggherrene, som førstegangs- eller flergangsbyggherre.

### 5.5.2 Programutvikling og konseptutvikling

Bygg21 (2015b) beskriver at rammer og mål for prosjektet bør konkretiseres i denne fasen, og at å samle et lederteam, og knytte til seg en arkitekt kan være aktuelt her. *RA3* legger vekt på at en som arkitekt bør tenke tre fra første strek, og underbygger påstanden med at det vil være vanskelig å få god økonomi i bygget hvis man velger å fortsette videre med et trebygg som i utgangspunktet er tegnet for stål og betong. For å oppnå riktig struktur på bygget, med akseptable spennvidder og akseavstander, bør valget om tre komme tidlig. Arkitekter som ikke har erfaring med massivtre bør alliere seg med en rådgiver som har kunnskap og erfaring med trebygg for å kunne ta hensyn til treets strukturelle og tekniske egenskaper. Dette er forenlig med *leanWOOD*-tilnærmingen om å innhente relevant kompetanse på tre i innledende designfase. *BH2* hevder «Lov om offentlige anskaffelser» kan gjøre tidlig involvering av en entreprenør utfordrende på dette tidspunktet, men kan løses med konkurranse som vektlegger påslagsprosent på arbeid og faste kostnader.

### 5.5.3 Forprosjektutvikling

Denne fasen skal resultere i en finansiell ramme fra eierperspektivet, og et romprogram for brukerperspektivet (Bygg21, 2015b). Gjennomføres prosjektet som en totalentreprise, vil entreprenøren kontraheres på grunnlaget av resultatet i denne fasen. Ved en samspillskontrakt blir dette steget brukt til å utvikle prosjektet i fellesskap. Kalkulatørene som skal regne på tilbudet anbefales å kommunisere med andre aktører og bruke løsninger som er rasjonelle (*E3*). *E3* utdyper at konkurransefortrinn for en entreprenør kan oppstå ved å binde seg til en leverandør av KL-tre. Konkurransefortrinn i dette tilfelle kan være slike som Eikeland (1999) beskriver med blant annet gjenbruk av informasjon, økt samspill mellom aktørene i verdikjeden og kostnadseffektive leveranser. Samtlige momenter regnes som faktorer for å redusere ressursbruk, tid og kostnader. *E3* hevder på den andre siden at blick samtidig bør rettes utover, da en potensielt mister oversikten over andre muligheter og de beste prisene i markedet. *P3* og *P4* påpeker imidlertid at det ikke oppstår vanskeligheter ved at limtre og KL-tre ikke kommer fra samme produsent. *P4* uttrykker likevel at gode relasjoner mellom entreprenør og leverandør er viktig for et godt samarbeid.

*BH2* og *BH3* forteller at byggherren jobber relativt likt med et tre-bygg, som i et stål/betong-bygg, men at entreprenører og arkitekter må gjøre ting annerledes. Entreprenører og andre aktører har en tendens til å helst ville gjøre det samme som tidligere for å unngå risiko, men entreprenører ikke bør forvente at trebygg er dyrere (*RA2*). *BH3* påpeker at byggherren bør involvere seg mye i arbeidet. I denne fasen bør også arkitekten fortsette arbeidet med å ivareta de nevnte punktene i *Steg 2* i *Bygg21* (2015b) sin gjennomføringsmodell.

#### 5.5.4 Utvikle grunnlag for produksjon og leveranse

Bygg21 (2015b) legger til grunn at denne fasen blir brukt til å utarbeide underlaget for produksjonen.

*E2* legger vekt på at det fra start er viktig å involvere en tydelig og dyktig prosjekteringsledelse. Geier (2016) uttrykker at i konstruksjoner av KL-tre og limtre vil egenskapene til isolasjon, brann- og akustikk påvirkes av alle strukturelle komponenter og må tas med i betraktningen i en tidlig fase. *RA3* belyser problemet med at rådgivere er vant med å jobbe i stål og betong. Få har erfaring med trebygg og forholder seg til gamle mønstre. Dette gjelder spesielt for fag som brann, lyd og ventilasjon. Resultatet av dette kan være slitsomt og potensielt prege hele prosjekteringen (*RA3*). *RA2* og *BH1* er enige med *RA3* og peker på viktigheten av å benytte konsulenter som har erfaring med lyd i trekonstruksjoner, slik at arkitekten kan samarbeide godt med RIB og akustikk. Dette kan eksempelvis utgjøre en stor estetisk forskjell, som har effekt på ytre effektivitet (Eikeland, 1999) for byggherre. Illustrasjonene av lydvegger fra Trefokus (2011a) og Trefokus (2011b) er eksempler på dette. *P1* legger også til at entreprenører bør være villige til å endre måten de jobber på når det skal bygges i tre for å lage gode løsninger tilpasset treet.

En god dialog mellom entreprenør og byggherre underveis anses som verdifullt for å fremdrive kostnadseffektive beslutninger og løsninger. For å eksemplifisere trekker *E4* frem festebraketter, og at avgjørelser på om disse skal være synlige eller ikke, vil påvirke bygget videre.

Å bygge med tre krever annerledes planlegging i prosjekteringen, spesielt i form av at alt må gjøres med en høy nøyaktighetsgrad og alt må prosjekteres ferdig før elementproduksjonen starter (*RA1*). *E3* peker også på betydningen av at alle holder den avtalte sluttdatoen i prosjekteringen, og bygget bør være ferdig prosjektert når produksjonen starter (*P2*, *P3*, *P4*, *BH1*). En slik streng fiksert dato er i tråd med slik Geier (2019) viser ved milepælen «Design Freeze». Denne milepælen rokker ved den overlappende, tradisjonelle modellen til Eikeland (1999) og faseindelningen til Packendorff (1993), noe som tyder på en mer sekvensiell fremvisning av faser/steg slik Bygg21 (2015b) beskriver. Det er viktig å poengtere at fasene til Bygg21 (2015b) er laget for å omhandle alle byggeprosjekt, og kan dermed tolkes til å foregå mer overlappende.

*E2* utdyper at det kan medføre kompleksiteter for underentreprenører, da prosjektering av KL-treprosjekter kan føre til at enkelte tekniske fag må være ferdige nesten et halvt år før normalen, og at ferdigstillelsesdatoen er mye strengere enn de er vant til. *BH2* opplyser at underentreprenører ofte ønsker å prosjektere sent i prosjektforløpet.

*RA2* uttrykker at elementer på 1,20 m sjeldent kan konkurrere med større elementer på pris, og *RA3* uttrykker han tror elementer med 1,20 m bredde vil forsvinne fra markedet. *E2* hevder at de bruker elementstørrelsen 2,95 m, og at elementer av høyde 1,20 m gir rundt 2,5 ganger lengre montasjetid. *RA1* omtaler 2,95 elementer som smarte. Elementinndelingen kan påvirke akustikken, og er avgjørelser som bør tas tidlig (*E4*). For at montasjen av elementene også skal være rasjonell, uttrykker *P3* ønsker om løsninger som sørger for at det ikke blir overdrevent mye skruearbeid. Andre sentrale avgjørelser er om bygget skal ha bæring i alt KL-treet, eller om det skal være KL-tre i ikke-bærende innervegger (*E4*).

For å øke mulighetene for å rette eventuelle mangler som skulle vært med i prosjekteringen, drøfter *BH1* mulighetene for å øke styrke i enkelte soner hvor det kan tas utsparinger uten å overstige påkrevet bæreevne. For å få fleksibilitet til å gjøre strukturelle endringer i et massivtre-bygg hevder *BH3* at det må etterspørres i prosjekteringen. *RA2* vektlegger at en ikke må bli helt låst på løsninger, og at det noen ganger kan det for eksempel lønne seg med en stålbjelke i konstruksjonen.

Byggtekniske erfaringer fra prosjekteringsfasen som blir nevnt av intervjuobjektene spesielt er:

- Ved spesielle brannkrav bør man være obs på valg av overflater og limtype. (*RA1*)
- Dokumentasjonen for lydkrav er ikke tilpasset trebygg. Både tester, utregning av ytelse og dokumentasjon i trebygg er for lite oppdatert. (*RA2*)
- TEK 17 er ikke tilpasset trekonstruksjoner. (*RA2*)
- Tre isolerer bedre enn teoretisk U-verdi. Testens natur gjør at isolasjonsmaterialer som glass- og steinull overpresterer. (*RA2*)
- Byggforsk sine detaljer inneholder ofte mange sjikt, noe som er dyrt å montere. (*RA3*)

Argumentasjonen støttes av Homb (2019) og Edvardsen & Ramstad (2014), som uttrykker at kunnskapen til akustikk ikke er lett tilgjengelig i bransjen og at prosjekteringsverktøy for lydhåndtering i trebygg er mangelfull. Studien utført av Reitan, Friquin & Mikalsen (2019) gir også tydelig uttrykk for utfordringer vedrørende mangelen på dokumenterte løsninger. Etasjeskillerløsningen SINTEF (2017) viser de mange lagene som kreves for å oppnå lydkrav, og sammen med Eikeland (1999) gir den medhold i *RA3* sine påstander om fordyrende montasje som følge av mange operasjoner.

### 5.5.5 Produksjon og leveranse

Hensikten til de utførende i denne fasen er å produsere underlaget i henhold til mål og rammer (Bygg21, 2015b). For å gjøre dette anbefaler *BH1* at byggeleder bør ha erfaring med KL-tre eller elementbyggeri,

og legger til at montasjeteamet må ha erfaring med KL-tre. *RA3* ga uttrykk for den punktlige logistikken i sin erfarte praksis, og at en ikke må havne bakpå i leveransene. Å bygge med massivtre anser *RA1* som forholdsvis enkelt, men informanten ser store forskjeller blant aktører og ofte er det et stort potensial i å effektivisere byggingen. Råbyggfasen nevnes dessuten som kritisk for å oppnå prosjektsuksess.

*P3* peker på verdien i at elementene lagres i riktig rekkefølge, og følger opp med nødvendigheten av logistikk og ryddighet på byggeplassen for smidig produksjon, i tråd med det første prinsippet for å redusere antallet ikke-verdiskapende aktiviteter slik *Koskela* (1992) beskriver det. *P4* påpeker at all håndtering kan skade elementene, og en kan derfor diskutere hvorvidt lossing, lagring og montasje kan gjøres mest mulig skånsomt for elementene. Det er belegg i påstandene til *P4*, da Norske Limtreprodusenters forening (2015) støtter beskyttelse av elementene gjennom eksempelvis emballering. Bransjen virker å ha vært mer bekymret for fukt under montasje tidligere, og erfaringer tilsier treet tåler mye fukt, så lenge det er nok tid til riktig uttørking fra man har tett bygg til malearbeidene starter (*E1*, *BH1*, *BH2*).

## 5.6 Bruk av *Lean*-verktøy og produktivitetsmåling

Det ble antatt av forfatterne at *Lean Construction* kan implementeres enklere i byggeprosjekt i tre enn andre typer bygg. Dette på grunn av byggematerialets elementvise oppbygging, som gir byggeprosessen forutsigbarhet og repeterbarhet. Ut ifra teorien vet vi at dette er egenskaper som gir en god grobunn for å innføre *Lean*-tankesettet (*Geier*, 2019, *le Roux et. al.* 2016). *Lean* stammer ifra Toyotas bilproduksjon (*Kolsås*, 2017), og det antas at det enklere oppnås god flyt ved forutsigbar samlebåndsproduksjon en med uforutsigbare tilfeldige prosesser. Som vi kommer fram til er det likevel flere som har funnet at prinsipper fra *Lean* kan effektivisere byggeprosessen ved å blant annet systematisk fokusere på fjerning av ikke-verdiskapende elementer.

Ut ifra resultatene fra intervjuene var inntrykket av at bruken av *Lean Construction* varierer. Forskjellige aktører har ulike verktøy som kan være bygget på *Lean*-prinsipper, men det virker ikke som bruk av *Lean* er en fellesnevner for aktører som bygger i limtre og KL-tre. Følgende intervjuobjekter har selv erfaring med bruk av forskjellige *Lean*-verktøy eller har sett andre brukt det:

- *E1* bruker *Takt* i byggefasen samt involverende planlegging.
- *E3* bruker egenutviklede verktøy, som stammer fra *Lean*, i mange prosesser.

- *E4* bruker en egenutviklet versjon av *Last Planner System* under prosjekteringen.
- *P1* tilstreber å bruke *Just-in-time* for elementproduksjonen. I tillegg brukes *5S* på verktøyrom.
- *BH1* hevder at noen entreprenører bruker *Lean*, spesielt ved totalentreprise.
- *BH2* erfarer at entreprenører har brukt *Takt* i byggeperioden, og at det blir stadig mer bruk av *Lean*.
- *RA1* erfarer at *Takt* ofte blir brukt in KL-treprosjekters byggeperiode.

Ut ifra intervjuresultatene kan man få inntrykket av at *Lean Construction* ikke er fremmedord for noen, og at de fleste har et forhold til det. Hvilke verktøy som brukes varierer, men det viser seg å være en trend i at entreprenørene bruker *Takt* i byggeperioden. *E1* forteller at han har erfaring med bruk av *Takt* og involverende planlegging, og at det fungerer utrolig bra. Han erfarer også at det er veldig viktig at alle fagene følger planen, og har et strengt fokus på nettopp dette. Den involverende planleggingen gjør at underentreprenørene er med på å sette farten for produksjonen, og har mulighet til å komme med innspill tidlig. De ulike aktørene kan også få et større eierskap til prosjektet av involveringen. Videre sier *E1* at det er et stort fokus på å holde planen. Hvis en aktør havner bakpå må den helst bruke kvelden eller helg til disposisjon, for å få seg i rute igjen. Ettersom *Takt* legger opp til repeterbare oppgaver i et visst mønster er det viktig å ikke havne bakpå slik at man kommer i veien for andres arbeid.

Produktivitetsmåling er en stor del av Koskelas (1992) ellefte prinsipp, *Mål og sammenlign (Benchmarking)*. Som beskrevet i *Kapittel 3.10.11*, vil bruk av denne metoden sørge at man holder øynene oppe for andre løsninger som kan effektivisere egen produksjon. En vesentlig forutsetning for å kunne sammenligne egne prestasjoner med andre aktørers resultater er å måle produktivitet. I *kapittel 4.8 Bruk av Lean Construction-verktøy og produktivitetsmåling* er det kartlagt i hvilken grad intervjudeltakerene driver med produktivitetsmåling. Generelt viser resultatene at entreprenørene hovedsakelig følger planen, og bruker status i forhold til planen som indikasjon på produktivitet (*E1, E2, E3*). *E4* påpeker at de prøver å få til produktivitetsmåling i prosjekteringsfasen, men at mange uforutsette ting ofte dukker opp. Dette gjør det vanskelig å finne en hensiktsmessig måte å gjøre produktivitetsmålinger på. Produsentene måler egen produktivitet i større grad, og har relativt god kontroll på produksjonsprosessen deres (*P1, P2, P4*). Byggherrene får vanligvis oppdatert jevnlig via møter og rapporter hvordan byggeprosjektet ligger an i forhold til plan, men måler ikke egen produktivitet (*BH1, BH2, BH3*). Produsentene har relativt repeterbare og sammenlignbare arbeidsoppgaver sett i forhold til byggherrene, og entreprenørene kan sies å ligge et sted imellom disse to. Resultatene viser at det kan være enklere og mer hensiktsmessig å måle produktivitet hvis arbeidet går ut på fysisk produksjon, uten uforutsette hendelser.



## 5.7 Informasjonsflyt mellom personer og prosjekter

I *kapittel 4.10 Kommunikasjon og erfaringsoverføring* ble det kartlagt om det er god nok kvalitet på kommunikasjonen og hvordan erfaringsoverføringen mellom prosjekter skjer. Kvalitet på kommunikasjonen går på overføring av informasjon under prosjektrettet, og erfaringsoverføring går på overføring av informasjon på tvers av prosjekter. Ettersom bygging med limtre og KL-tre ikke har blitt gjort like mye som bygging i stål og betong har det ikke blitt opparbeidet like mye erfaring og kunnskap om tema. Dette gjør at det kan være store forskjeller mellom personer og aktørers kompetanse i et byggeprosjekt. Momenter som kan tas forgitt i stål- og betongprosjekt bør i stor grad kontrolleres, hvis ikke aktørene har tilstrekkelig kompetanse med bygging i tre.

Ut ifra resultatene ser vi at de fleste intervjuobjektene mener at kommunikasjonen er god, men at det fortsatt finnes forbedringspotensiale. I KL-treprosjekter må prosjekteringen være ferdig på et tidlig tidspunkt. Dette gjør at kommunikasjonen bør starte tidligere (*E4, RA3*), og at det tidligere kreves mer fra enkelte aktører. Ettersom ulike aktører, som blant annet tekniske fag, må involvere seg såpass tidlig er det spesielt viktig med god kommunikasjon innledningsvis i prosjektet. Da blir *involverende planlegging*, en del av prinsippene i *Last Planner System* (Kalsaas, 2017), en naturlig del av hvordan rasjonelt byggeprosjekt utformes. Å ikke involvere aktørene som skal utføre arbeidet kan by på problemer. Produsenten spiller en stor rolle i limtre- og KL-trebygg, og det er det viktig med en god dialog tidlig. Intervjuobjekt *E3* peker på at kalkulatorer generelt sett bør gå i tettere dialog med leverandører, og *RA2* poengterer at entreprenører og produsenter bør kommunisere bedre. Leveringstiden avhenger av materialets etterspørsel på bestillingstidspunktet (*P1, P2, BH1, RA1*), og bestillinger bør derfor planlegges i god tid på forhånd.

Erfaringsoverføring handler om hvordan erfaringer og kompetanse kan overføres fra ett prosjekt til det neste. Bygging i limtre og KL-tre krever er en annerledes prosess i forhold andre byggemetoder. Det er viktig at det legges til rette for kontinuerlig forbedring, slik det er beskrevet av Koskela (1992), for at erfaring og kompetanse skal overføres godt mellom ulike prosjekter. På den måten kan bygging i tre potensielt bli en bedre og mer kostnadseffektiv løsning tidligere, og gjøre kvaliteten på prosessen mindre personavhengig. Fra intervjuresultatene kan det ses at det finnes stort potensiale for å bedre erfaringsoverføringen mellom prosjekter. Flere av intervjudeltakerne mener at erfaringsoverføringen skjer muntlig (*E3, E4, BH3, RA3*), gjennom møter eller lignende, og ingen av informantene forteller at de har digitale systemer som tilrettelegger for det. *RA2* hevder at erfaringen er personbasert for entreprenørene -

noe som virker sannsynlig hvis det ikke er måter for å tilegne seg kunnskap og erfaring uten å erfare bygging med tre på egen hånd. Intervjuobjekt *E3* mener også at erfaring ikke blir transportert effektivt til neste prosjekt, og uttrykker ønsket om et digitalt verktøy som kan sørge for erfaringsoverføring mellom prosjekter. Noen intervjuobjekter hevder at erfaringsoverføring skjer ved at det brukes de samme samarbeidspartnere som rådgivere, arkitekter eller lignende (*BH2*, *RA1*). Det er forfatterens oppfatning at dette ikke sørger for en overføring av erfaring i seg selv, men heller tvert imot sørger for at erfaringen forblir personbasert.

Det virker som bransjen trenger et verktøy som sørger for at gode byggedetaljer, sjekklister og erfaringer kan være tilgjengelige for personer som ikke har bygget med limtre og KL-tre før. *BH1* trakk frem at et firma som heter «Holz100» tidligere hadde gode byggedetaljer og erfaringer tilgjengelig på sin hjemmeside. Slik det ble beskrevet i teorien, er det mangel på både preaksepterte løsninger og for kostnadseffektive byggedetaljer. *Byggforskserien* som vanligvis har en rekke gode løsninger for de fleste vanlige byggedetaljer har, som beskrevet av teorien og intervjuene, få gode detaljer for limtre- og KL-trebygg. Behovet for en database med dokumenterte løsninger kunne vært mindre dersom erfaring, som for eksempel byggedetaljer, ble organisert og gjort tilgjengelig til senere prosjekter.

## 5.8 Fjerning av ikke-verdiskapende elementer

I dette delkapittelet gjennomgås intervjuene gitt i *kapittel 4.11 Ikke-verdiskapende elementer* etter Ohnos (1988) sju ikke-verdiskapende aktiviteter. Inntrykket til forfatterne er at Ohnos prinsipper ikke passer godt til å kategorisere intervjuene. Hvordan personer tolker hva som er verdiskapende eller ikke varierer, og ofte er svarene som intervjudeltakerne kommer med veldig sammensatte. For eksempel så nevner *E4* at lydøsningene ikke er preaksepterte som et ikke-verdiskapende element og *BH1* mener det er mangler kunnskap om kostnadseffektive løsninger. De ikke-verdiskapende elementene som nevnes av intervjudeltakerne virker overordnede og sammensatte, og de fleste momentene kunne vært oppført under tabellen for råd og erfaringer. Det er også stor variasjon i hva intervjudeltagere tar opp, med unntak av *E4*, *P3*, *BH3*, *RA3* som alle nevner mangel på standardiserte løsninger på en eller annen måte. *RA3* peker også på utfordringer knyttet til at rådgivere tar på seg oppdrag med trebygg, uten å ha tilstrekkelig kompetanse. Dette kan stå i stil med det Koskela (2004) omtaler som «making-do», der et aktivitet startes uten de riktige forutsetningene for å fullføre den. Ved mangel på standardiserte løsninger kan det tenkes at ikke-verdiskapende aktiviteter som *overproduksjon* og *defekte varer* oppstår direkte,

men indirekte kan de standardiserte løsningene spare prosjekter for de fleste av Ohnos (1988) sju typer ikke-verdiskapende aktiviteter.

## 5.9 Flyt og produktivitet sett fra et Lean-perspektiv

På grunn av avgrensningene i masteroppgaven fokuseres det på momenter som har en direkte innvirkning på byggeprosjektet. *Lean Construction*-filosofien er derfor funnet dekkende til å inkludere aktivitetene til produsenter, byggherre og rådgivere, der hvor deres arbeid har en direkte innvirkning på de innledende fasene av prosjektet eller i byggeperioden. Under intervjuene utført av forfatterne svarte informantene på hva de fokuserer på for å oppnå flyt i dag, og hva de har planer om å gjøre i fremtiden for å øke produktivitet. I dette kapitlet vil intervjudeltakernes svar fra *kapittel 4.9 Oppnå flyt og øke produktivitet* struktureres og grupperes etter rolle i bransjen og deretter diskuteres i henhold til Koskela (1992) sine 11 produksjonsprinsipper. Supplerende innspill til Koskela sin produksjonsfilosofi vil også nevnes. Hensikten er å søke etter sammenhenger og ulikheter i intervjuintervjuene. Hvis en uttalelse diskuteres under et produksjonsprinsipp er det forfatters vurdering. Enkelte momenter kan ha effekt på flere punkter, men fremstår kun én gang der det vurderes som mest passende av forfatterne. Det antas at intervjudeltakerene gjennomfører hva de planlegger for å øke produktivitet i fremtiden.

### 5.9.1 Praktiseres Koskela (1992) sine produksjonsprinsipper blant entreprenørene?

*E1* forteller om et ekstremt fokus på å holde tidsplanen de har satt seg, og *E3* belyser samtidig viktigheten av å mate andre aktører med informasjon. Begge med den hensikt å unngå ventetid blant involverte i prosjektet. *E3* fokuserer samtidig at å gjøre ting ordentlig og i riktig rekkefølge vil redusere antall defekte varer. Dette er sentrale temaer under prinsippet om «å redusere ikke-verdiskapende aktiviteter», slik både Koskela (1992) og Ohno (1988) beskriver det. *RA3* beskrev også situasjonen der den presise levering av elementer førte til komplikasjoner med den tradisjonelle norske byggeplassen, og at entreprenørene ikke alltid var klare for å motta leveransen. Dette kan føre til ikke-verdiskapende aktiviteter for arbeidere og maskiner i form av arbeid til mellomlagring eller venting i forbindelse med klargjøring av montasje (Ohno, 1988). *E2* nevner at de bruker standarddimensjoner i montasjen, og dette kan kategoriseres innenfor prinsippet om å « redusere variabilitet ». Andre måter å redusere variabilitet er slik *RA3* beskriver, der de operer med en todagers syklus mellom elementleveransene. Elementene skal være ferdig monterte til ny leveranse kommer. Denne prosessen beskrives ikke som *Takt* av *RA3*, men forfatterens oppfatning er at prosessen har store likheter med planleggingsverktøyet. Ved å fastsette lengden på prosessens varighet, for eksempel ved bruk av *Takt*, antas det at variabiliteten i elementmontasjen kan reduseres. Videre forteller

*E2* og *RA3* at de hovedsakelig bruker store elementer, som er forenelig med tanken om å «minimere antall trinn, deler og sammenkoblinger» (Koskela, 1992). Effekten av dette prinsippet kan imidlertid diskuteres, da det potensielt går med mye tid og ressurser i prosjektering til å optimalisere elementstørrelse og inndeling, men hovedinntrykket er at forarbeidet gir avkastning i gjennomføringsfasen. Dette uttrykkes også av *E2*, som forteller at jobbing med innfesting, logistikk og elementinndeling kan effektivisere montasjeprosessen, men legger til at å jobbe med effektivisering kan føre til økt bruk av ressurser.

*E1* mener at samhold og god kultur er viktig i prosjektet, slik at samarbeidspartnerne har incentiver lik dine egne. Dette kan redusere organisatoriske barrierer mellom egen og andres interessenters prosesser (Koskela, 1992). Videre hevder *E1* at det internt fokuseres på «kontinuerlig forbedring». Hva som ligger i dette ble ikke utdypet i detalj, men det kan argumenteres for at åpenhet for å utfordre og effektivisere arbeidsmetoder må regnes som sentralt, da bruk av KL-tremontasje er en relativt ny praksis som blir stadig mer brukt.

*E3* fokuserer på å ha med underentreprenører i planleggingen, og *E4* forteller at en oppstartssamling med de tekniske fagene gjør at alle er med fra start. Nevnte tiltak kan knyttes opp til å «ha kontroll over hele prosessen», da de involverte er med på å dra prosjektet i samme retning. Ved denne praksisen kan det trekkes paralleller til prosjektet *Moholt 50/50*, som ble gjennomført med en samspillskontrakt (Lien & Lolli, 2019), og taler potensielt i favør av at en slik gjennomføring av KL-treprosjekter. På en annen side er det mange faktorer som spiller inn på valget av byggeprosjektets gjennomføringsmodell, og denne forestillingen kan dermed ikke generaliseres på slikt grunnlag.

Videre trekker *E1* inn en viktig innstilling som innebærer om å *jobbe smartere*. Å jobbe smartere kan for eksempel bety å eliminere årsaken problemet, i stedet for å løse effekten av det. Helt konkret kan det være ved fuktsikker håndtering av elementene i stedet for å legge opp til langvarig uttørking. *E4* sier at de har planer om å starte med produktivitetmåling, som betyr å måle og sammenlikne resultater og arbeidsmetoder. Samtidig forklarer *E4* at de prøver å få til en bedre metodikk på det de gjør, og produktivitetmåling kan være en metode for å se hvilke tiltak som fungerer. Her er det viktig å sørge for god flyt i gjeldene produksjon, slik at implementeringen av nye metoder og utstyr blir mer i tråd med prinsippet om å «Balansere forbedring i flyt (flow) med fornying av utstyr og prosesser» (Koskela, 1992).

Koskela (1992) hevder at prinsippet om å «måle og sammenlikne (benchmarking)» gjør at øynene kan åpnes for andre løsninger og radikale forbedringer, og belyse fundamentalt ineffektive prosesser. Hvilke

produktivitetsmålninger det er lurt å gjennomføre kan variere mellom bedrifter, men en anbefaling kan være å følge Camp (1989) sin stegvise oppbygning for implementering slik det ble vist i teorien.

Kundene i et byggeprosjekt kan deles inn i to generelle grupper: personer som skal gjøre en aktivitet som avhenger av ditt arbeid og sluttkunden (Koskela, 1992). Verdiskapning skjer ved å oppfylle kundens ønsker og behov, og dette er noe som ofte ikke fokuseres nok på (Eikeland, 1999; Koskela, 1992). Dette kan regnes som viktig i et KL-treprosjekt ettersom verdien i synlig tre og miljøvennlighet i prosjektet virker som de mest ønskede egenskapene blant mange byggherrer. Forfatterens oppfatning er at entreprenørene ikke påpekte elementer som kunne gi økt verdiskapning for prosjekteier eller bruker, hvis det ses bort i fra *E3* sitt fokus på å mate andre aktører med informasjon. Gjennom konkret fokus på kundebehov, spesielt under prosjekteringen, kan det tenkes at prinsippet om å «øke produksjonsverdien gjennom systematisk vurdering av kundens behov» kan bli forbedret.

Å « redusere syklustiden », skjer ofte som en indirekte årsak av å fokusere på reduksjon av ikke-verdiskapende aktiviteter. Dette kan skje gjennom å redusere inspeksjonstid, ventetid eller bevegelsestid (Koskela, 1992). Et eksempel som forfatterne velger å trekke frem er hvordan en kan redusere syklustiden i elementmontasjen. Gjennom å kvalitetssikre et håndterlig antall elementer av gangen, kan feil avdekkes tidlig og deretter rettes. På den måten begrenses potensiale for omgjøringsarbeider. Det samme gjelder god logistikk rundt innløfting av elementene, slik at ingen venter på hverandre og at et riktig antall arbeidere blir satt til jobben. Til sist kan det trekkes frem at elementene som skal monteres bør ligge i nærhet til montasjeområdet for å redusere nødvendig bevegelse. Dersom dette gjøres med god flyt kan det tenkes at syklustiden til operasjonen reduseres. Etersom KL-tre prosjekter vil inneha andre arbeidsoperasjoner enn ved tradisjonelle prosjekter, kan det også antas at dyktige arbeidere som forstår og behersker trematerialer blir viktig. Det å øke fleksibiliteten i produksjonen kan regnes som et kompromiss til prinsippet om å redusere variabilitet, men ved å ha arbeidere som kan utføre et bredt spekter med arbeidsoppgaver, samt å fokusere på å gjøre arbeid som innskrenker byggets strukturelle eller visuelle muligheter så sent som mulig, kan det antas å gi « økt fleksibilitet i produksjonen ».

### 5.9.2 Praktiseres Koskela (1992) sine produksjonsprinsipper blant andre interessenter i prosjektet?

Det vil i dette avsnittet legges vekt på eksempler fra informantene som kan knyttes opp mot teorien. To produsent-informanter har uttrykt at *Lean*-prinsipper er aktuelle i deres hverdag (*P1*, *P4*). Gjennom å sørge for å ha mottatt alt av nødvendige underlag, og samtidig sende komplette underlag videre, sørger

*P2* sørger for å bidra til at venting og andelen defekte varer kan reduseres. Det gis derfor uttrykk for at det rettes fokus på å følge prinsippet om å «Redusere antallet ikke-verdiskapende aktiviteter». *P4* forteller at det i deres praksis fokuseres det på å stable elementene riktig, og at materialene transporteres med en gang. Dette kan redusere bevegelse, venting og beholdning. Fokuset kan knyttes opp mott Ohno (1988) og til det første av Koskela (1992) sine produksjonsprinsipper. *P4* forteller at de vil ha oppdrag som er egnet til deres produksjon, noe som innebærer at enkle prosjekter av stort volum er ønskelig. Oppnåelse av indre effektivitet for produsent og ytre effektivitet for kunde (Eikeland, 1999) er i tråd med tanken om å «øke produksjonsverdien gjennom systematisk vurdering av kundens behov», som nevnt av Koskela (1992). Av andre tiltak, hevder *PI* at de har utvidet produksjonshallen, som kan knyttes opp mot «økt fleksibilitet i produksjonen».

*BH2* beskriver at interessefellesskap mellom entreprenør og byggherre er å tilstrebe i prosjektet, og at de fokuserer på moderne gjennomføringsmodeller med samspill. Dette kan hjelpe entreprenøren i å «øke produksjonsverdien gjennom systematisk vurdering av kundenes behov». Samtidig opplyser *BH1* at de gjennomfører byggemøter med entreprenør og prosjekterende i samme rom, som oppleves som verdifullt for prosjektet. I et byggeprosjekt i KL-tre, kan det være at de ellers foranderlige og bevegelige funksjonskravene fra byggherre under byggeprosessen (Eikeland, 1999) må innskrenkes på et tidligere tidspunkt enn tradisjonelle bygg. Dette viser også MacLeamy-kurven (le Roux et. al. 2016), og må gjøres for å ivareta prosjekteringsfasen. Byggherren bør være innforstått med dette. *BH3* forteller også at de opererer med forutsigbare og regelstyrte byggeprosesser, som kan antas å ha en innvirkning på «reduksjon i variabiliteten».

*RA1* forteller at oppstartssamlinger kan løse mange spørsmål. Macomber og Howell (2004) argumenterte med at de to punktene som førte til mest sløseri i et byggeprosjekt er den manglende evnen til å kommunisere eller å motta informasjon. Ved å kommunisere tydelig hvilke begrensninger og styrker som finnes for trematerialer, kan interessentene lære noe før prosessen starter og således redusere manglende kommunikasjon. *RA2* forteller at det fokuseres på å «reduere antallet ikke-verdiskapende aktiviteter», gjennom god planlegging og logistikk. Forfatterens oppfatning er at disse momentene er meget viktige for elementbygg.

Uttalelsene til informantene kan samlet sett tolkes som et positivt tegn for muligheten til å implementere mer *Lean Construction*-metodikk til byggeprosessen i trebygg. Det er forfatterens oppfatning at bygging med limtre og KL-tre har bedre forutsetninger for å fungere godt med *Lean Construction* enn andre

byggemetoder, ettersom konstruksjonsmaterialet kommer elementvis i relativt lik størrelse og kompleksitet til byggeplassen. I tillegg er store deler av byggematerialene som brukes prefabrikkert. Dette gjør at bygging med limtre og KL-tre i større grad kan sammenlignes med effektiv og forutsigbar samlebåndsproduksjon.





## 6 Konklusjon

*Hva må til for at bygging med bæresystem i limtre og krysslimt tre blir mer attraktivt for byggprosjektets interessenter?*

Store deler av limtreet og KL-treet som blir brukt i nybygg i Norge kommer i dag fra Sentral-Europa, men i nær fremtid ser det ut til at en produksjonsøkning i Norge og Sverige vil føre til økt konkurransedyktighet lokalt. Det økende klimafokuset i det norske samfunnet har gjort at etterspørsel etter, og bruk av, trebygg har økt betraktelig. Klimafordelene som trebygg representerer virker å være den klart viktigste driveren for valget om å bygge i tre, men godt innemiljø blir også hyppig nevnt som en faktor. Samtidig finnes det flere andre fordeler ved å benytte elementvise byggematerialer i tre. Informantene peker på byggetiden som spesielt gunstig, ettersom prosjektets varighet kan reduseres betraktelig under de rette omstendighetene. I tillegg foretrekker flere arbeidsmiljøet som treprosjekter skaper. Videre er det enkelte egenskaper som gjør trebygg mindre attraktive. Mangelfulle forskrifter, og en begrenset mengde dokumenterte løsninger, gjør at arbeid knyttet til brannsikkerhet og akustikk anses som en ressurskrevende utfordring. Lydkrav pekes på som spesielt krevende. Trematerialer kan være fuktømfintlige, men ved å følge produsentenes anbefaling for håndtering, samt sette av nok tid til riktig uttørring, kan en minimere konsekvensene av det. På grunn av treets materielle egenskaper finnes også en naturlig høyde- og spennviddebegrensning som kan være kostbar å overstige.

Med tiden vil næringen antageligvis tilegne seg økt erfaring og kompetanse med trebygg, noe som vil øke produktivitet og senke risiko for aktørene. Sannsynligvis kommer totalprisen på treprosjekter til å gå ned som en følge av dette. Flere av informantene peker på arbeid relatert til tekniske fag som en utgiftspost med potensiale for besparelser. Etersom hulltaking er utført før montering av det tekniske utstyret starter, samt at tre-dekker og -vegger gir utstrakte spikerslag, reduseres tekniske fags timebruk ifølge informantene. Dette gir KL-treprosjekter enklere og bedre arbeidsvilkår, spesielt innenfor VVS- og EL-fag. Likevel hevdes det at selv med vesentlige tid- og ressursbesparelser, har ikke tekniske fag priset seg lavere for tilsvarende arbeid i trebygg så langt.

Selv om flere informanter ikke bruker *Lean Construction*-prinsipper bevisst, viser funnene og informantenes erfaringer at flere prinsipper brukes i praksis. Forfatterne har en oppfatning av at *Lean Construction*-verktøy eller -prinsipper passet godt med elementvise byggeprosesser som KL-treprosjekter representerer. Det ble funnet at bruk av *Lean* varierte veldig mellom ulike aktører, noe som gjorde det utfordrende å trekke generaliserbare slutninger med hensyn til hvilke *Lean*-verktøy og -prinsipper som hadde god effekt. Likevel viser det seg at bruk av faste tidssykluser eller *Takt* kan øke produktiviteten. Dersom dette skal fungere må arbeidsoppgavene deles opp i passende størrelser, og tidsskjema strengt prioriteres. Følgelig kan forutsigbarheten økes og variabiliteten senkes i produksjonen.

Systemer for erfaringsoverføring mellom prosjekt og personer pekes på som et område med stort forbedringspotensial. Viktigheten av riktig kunnskap og erfaring med trebygg, og mangel på gode forskrifter og preaksepterte løsninger øker behovet for dette. En trebygg-database med erfaringer og gode byggedetaljer kan derfor være nyttig. Det anbefales at et aktuelt foretak, eller et samarbeid mellom flere, oppretter en database til erfaringsoverføringsformål.

Ved å ha en å ha en byggeprosess som legger til rette for produktivitet kan trebygg gi økt verdi for interessentene. Et attraktivt byggeprosjekt sørger for god inntjening hos de utførende, samtidig som eier/bruker får utnyttet sine disponerte ressurser godt. Tar man utgangspunkt i resultatene fra denne oppgaven bør følgende tilstrebnes for å skape et produktivt og kostnadseffektivt KL-treprosjekt:

- Definer byggematerialet til bæresystemet i forprosjektutviklingen eller tidligere, og sørg for at byggets utforming og struktur er tilpasset trematerialer.
- Trebygg bør ikke videreutvikles med utgangspunkt i prosjektering gjort basert på andre bæresystem.
- For KL-trebygg må prosjektering, inkludert fra tekniske fag, være ferdigstilt før underlaget sendes til produsent. Dette krever god kommunikasjon og styring fra prosjektledelsen.
- God planlegging og logistikk er avgjørende under byggeperioden.
- Erfaring og kunnskap med bygging i tre er vesentlige suksessfaktorer. Dette gjelder spesielt for prosjektledelse, arkitekter, rådgivende ingeniører og montasjeteam.

## 7 anbefalinger for videre arbeider

Det er forfatterens inntrykk at det skjer mye forskning på limtre og KL-tre i Norge. Etersom bruk av bæresystem i tre i større konstruksjoner er relativt nytt, er det likevel flere områder som kan dra nytte av økt fokus. Basert på arbeidet med masteroppgaven ønsker forfatterne å anbefale fire forskningsområder som kan gjøre bygging med tre mer attraktivt.

- Forskning på kostnadseffektive byggedetaljer som oppfyller brann- og lydkrav.
- Kostnadsstudier knyttet til redusert byggetid i gjennomføringsfasen og total prosjektøkonomi, der den økonomiske effekten av tidligere ferdigstillelse, samt forskjell i rigg- og driftskostnader, blir kartlagt.
- Utarbeidelse av en database der gode erfaringsbaserte løsninger kan være med på å gjøre personbasert erfaring mer tilgjengelig for flere.
- Opprettelse av et *Lean Construction*-basert verktøy som er spesialtilpasset byggeprosessen for elementmontasje i tre.



## 8 Referanseliste

Akintoye, A. (1995) Just-in-Time application and implementation for building material management, *Construction Management and Economics*, 13:2, 105-113, DOI: 10.1080/01446199500000013

Arksey, H., O'Malley, L. (2005) Scoping studies: towards a methodological framework, *International Journal of Social Research Methodology*, 8:1, 19-32, DOI: 10.1080/1364557032000119616

Asplan Viak (2016) *Bruk av tre i offentlige bygg*. Tilgjengelig fra: <https://d21dbafykyfde9.cloudfront.net/1481729588/bruk-av-tre-i-offentlige-bygg.pdf> (Hentet 15 mars 2020)

Asplan Viak (2019) *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp* (Byggenæringens Landsforening 621256-01) Tilgjengelig fra: [https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp\\_bae\\_2019.pdf?fbclid=IwAR00Dx84j9VxJIPbeEeCK8vYL3ToDhMY3HMUp10hh1SCinM0AUTcAUceN0k](https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf?fbclid=IwAR00Dx84j9VxJIPbeEeCK8vYL3ToDhMY3HMUp10hh1SCinM0AUTcAUceN0k) (Hentet: 23. april 2020)

Ballard, G., Tommelein, I. (2016) *Current Process Benchmark for the Last Planner System*. University of California, Berkeley: Project Production Systems Laboratory, Tilgjengelig fra: [p2sl.berkeley.edu](http://p2sl.berkeley.edu)

Ballard, G. (2000) *The Last Planner System of Production Control*. Ph.D, University of Birmingham.

Bendell, A., Disney, J., Pridmore, W.A. (1989) *Taguchi Methods: Applications in World Industry*. IFS Publications: Springer Berlin Heidelberg

Borgström E., Fröbel J. (2019) *KL-trähandbok [The CLT Handbook]* Stockholm: Svensktträ

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A. *et al.* (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *Eur. J. Wood Prod.* 74, 331–351 <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>

Buchanan, A., Ostman, B., & Frangi, A. (2014). *Fire resistance of timber structures*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.

Build in Wood (2020) *About the project*. Tilgjengelig fra: <https://www.build-in-wood.eu/project> (Hentet: 21. mai 2020).

Byggeindustrien (2020) *Disse kjemper om Årets trebyggeri*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1424423> (Hentet: 28. mai 2020)

Bygg21 (2015a) *Veileder for fasenormen «Neste Steg» - Et felles rammeverk for norske byggeprosesser*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg21.no/contentassets/ac0c77e4ec904c7a955525528b474b6c/veileder-for-stegstandard---med-logoer-301115.pdf> (Hentet: 4. mai 2020)

Bygg21 (2015b) *Gjennomføring av bygg- og anleggsprosjekt*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg21.no/globalassets/dokumenter/fasenorm.pdf> (Hentet: 4. mai 2020)

- Byggfakta (2020a) *Bygger Zeb Flexible Lab*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.byggfakta.no/bygger-zeb-flexible-lab-167903/nyhet.html> (Hentet: 15. april 2020)
- Byggfakta (2020b) *Her er de nominerte til årets trebyggeri 2019*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.byggfakta.no/her-er-de-nominerte-til-arets-trebyggeri-2019-164378/nyhet.html> (Hentet: 14. april 2020)
- Börjesson, P., Gustavsson, L. (2000). Greenhouse gas balances in building construction: Wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. *Energy Policy*. 28. 575-588. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00049-5.
- Camp, R.C. (1989) *Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance.*, Milwaukee: ASQC Quality Press
- Denzin, N.K. (1994). The art and politics of interpretation. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (p. 500–515). Sage Publications, Inc.
- DIBK (2017a) § 11-2. *Risikoklasser*. Tilgjengelig fra:  
<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2/> (Hentet: 30. april 2020)
- DIBK (2017b) § 11-3. *Brannklasser*. Tilgjengelig fra:  
<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/> (Hentet: 30. april 2020)
- DIBK (2017c) § 11-4. *Bæreevne og stabilitet*. Tilgjengelig fra:  
<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/ii/11-4/> (Hentet: 30. april 2020)
- DIBK (2019) *Utfordringer med krysslaminert massivtre i høye bygninger*. Tilgjengelig fra:  
<https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/utfordringer-med-krysslaminert-massivtre-i-hoye-bygninger/>  
 (Hentet: 29. april 2020)
- Doyle, A. (2019) *The Heat is On – Taking Stock of Global Climate Ambition*. NDC Global Outlook Report 2019. World: UNDP/UNFCCC. Tilgjengelig fra:  
[https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/NDC\\_Outlook\\_Report\\_2019.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/NDC_Outlook_Report_2019.pdf) (Hentet: 3. april 2020)
- Edvardsen, K.I., Ramstad, T. (2014) *Trehus - Håndbok 5*. Oslo: SINTEF akademisk forlag
- Eikeland P.T. (1999) *Teoretisk analyse av byggeprosesser*. Tilgjengelig fra:  
<http://v1.prosjektnorge.no/files/pages/362/samspillet-i-byggeprosessen-eikeland.pdf>  
 (Hentet 20. april 2020)
- Fransson, A., Berghede, K., Tommelein, I.D. (2013), 'Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding' In: Formoso, C. T. & Tzortzopoulos, P., *21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Fortaleza, Brazil, 31-2 Aug 2013. pp 527-536
- Geier, S. (2019) leanWOOD – towards resilient design and building processes. *SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT D-A-CH CONFERENCE 2019 (SBE19 Graz)* 11-14 September, Graz, Austria Vol 323. doi:10.1088/1755-1315/323/1/012019

- Glass, S.V., Wang, J., Easley, S. og Finch, G. (2013). Enclosure Chapter 10: Building enclosure design for cross-laminated timber construction. U.S. Edition. Canada: FP Innovations and Binational Timber Council. Tilgjengelig fra: [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl\\_2013\\_glass001.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl_2013_glass001.pdf) (Hentet: 27. april 2020)
- Gold, R. (1958). Roles in Sociological Field Observations. *Social Forces*, 36(3), 217-223. doi:10.2307/2573808
- Gullbrekken, L. og Elvebakk, K. (2018). *Kartlegging av kritiske områder ved prosjektering og utførelse av bygg med KLT-elementer (massivtre-elementer)*. Rapport 2018:01400. Trondheim: SINTEF Byggforsk
- Gustavsson, L., Pingoud, K., & Sathre, R. (2006) Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete-and wood-framed buildings. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(3), 667-691. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-7207-1>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009) A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91-108. DOI: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x
- Green, M., Taggart, J. (2017) *Tall Wood Buildings: Design, Construction and Performance*. Basel: Birkhauser Verlag GmbH.
- Hertwich, E.G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., Asghari, F.N., Olivetti, E., Pauliuk, S., Tu, Q. and Wolfram, P. (2019). Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics—a review. *Environmental Research Letters* 14, 043004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3>.
- Hoeller C., Mahn J., Quirt D., Schoenwald S., Zeitler B., (2017) *Apparent sound insulation in cross-laminated timber buildings*. NRC Publications Archive, National Research Council Canada. <https://doi.org/10.4224/23002009>
- Homb, A. (2019) Hybrid Joist floor constructions. Evaluation of measurement results, *Proceedings of the ICA 2019 and EAA Euroregio. 23rd International Congress on Acoustics, integrating 4th EAA Euroregio 2019 9-13 Spetember 2019, Aachen, Germany*.
- Imarc Group (2017) *Top cross laminated timber manufacturers worldwide*. Tilgjengelig fra: <https://www.imarcgroup.com/top-cross-laminated-timber-manufacturers-worldwide> (Hentet: 24. april 2020)
- Issa & Kmeid (2005) Advanced wood engineering: glulam beams. *Construction and Building Materials*. Vol 19 (2) p. 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.013>
- Kalsaas, B. T. (2017) *Lean Construction - Forstå og forbedre prosjektbasert produksjon*. Bergen: Fagbokforlaget.
- Khatib, J. et. al. (2016) Chapter 2 – Principles of sustainability and life-cycle analysis. *Sustainability of construction materials* (2. Edition). Woodhead Publishing.

- Kittang D., Narvestad R., Nyrud A.Q. (2011) *Tre i by - en kunnskapsoversikt* (Prosjektrapport 74 - 2011). Oslo, SINTEF akademisk forlag. Tilgjengelig fra: [https://www.sintefbok.no/book/index/916/tre\\_i\\_by\\_en\\_kunnskapsoversikt](https://www.sintefbok.no/book/index/916/tre_i_by_en_kunnskapsoversikt) (Hentet: 20. februar)
- Klimaloven (2018) *Lov om klimamål*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2017-06-16-60> (Hentet: 23. april 2020)
- Koskela, L. (1992) Application of the new production philosophy to construction. Stanford University (Technical Report No. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering).
- Koskela, L. (2004) *Making Do - The Eight Category of Waste*. Salford: University of Salford, Manchester.
- Krupka, Dan C. (1992) Time as a Primary System Metric. In: Heim, Joseph A. & Compton, W. Dale (ed.). 1992. *Manufacturing systems: foundations of world-class practice*. National Academy Press, Washington, DC. Pp. 166 - 172.
- Kvale, S. and Brinkmann, S. (2009) *Inter Views: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing*, Sage, Los Angeles, CA.
- le Roux, S., Bannier, F., Bossanne, E., Stieglmeier, M. (2016) *Investigating the interaction of building information modelling and lean construction in the timber industry*. World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016), Vienna University of Technology, World Conference on Timber Engineering, Vienna, Austria, 22/08/2016.
- Lien, A.G, Lolli, N. (2019) Costs and Procurement for Cross-Laminated Timber in Mid-Rise Buildings. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering* Vol. 2 / No. 25 / 2019 pp. 43-52 DOI 10.5755/j01.sace.25.2.22099
- Lædre, O (2006) *Valg av kontraktsstrategi i bygg- og anleggsprosjekt*. Dr.ing. avhandling. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Macomber, H. & Howell, G. (2004) 'Two Great Wastes in Organizations: a typology for addressing the concerns for the underutilisation of human potential,' in proceedings IGLC12, Elsinore, 25-27 July.
- Mason, J. (1996) *Qualitative researching*. Sage Publications, Inc.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., & Waterfield, T. (2018). *IPCC Special Report Global Warming of 1.5 C. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Moelven (2019) *Historien om Moelven Limtre AS*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/no/om-moelven/byggsystemer/Moelven-Limtre-AS/historien-om-moelven-limtre-as/> (Hentet: 25. februar 2020)
- Morse, J. M. (2010). *"Cherry picking": Writing from thin data*. *Qualitative Health Research*, 20(1), 3. <https://doi.org/10.1177/1049732309354285>



Nigam A, Nigam PK. (2012) *Citation Index and Impact factor*. Indian J Dermatol Venereol Leprol. Tilgjengelig fra: <http://www.ijdv.com/article.asp?issn=0378-6323;year=2012;volume=78;issue=4;spage=511;epage=516;aulast=Nigam> (Hentet 17 januar 2020)

Nordby, Solli & Dahlstrøm (2015) *Helhetlig vurdering av byggematerialer*. Asplan Viak. Hentet fra: <http://biblioteket.husbanken.no/arkiv/dok/Komp/helhetlig%20miljovurdering%20av%20byggematerialer.pdf> (Hentet: 05. mai 2020)

Norske limtreprodusenters forening (2015) *Limtreboka*. Tilgjengelig fra: [https://www.limtreforeningen.no/images/Limtreboka\\_versjon\\_2.pdf](https://www.limtreforeningen.no/images/Limtreboka_versjon_2.pdf) (Hentet: 25. februar 2020)

Norske limtreprodusenters forening (2018) *Limtreboka. Beregningseksempler*. Tilgjengelig fra: [https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtre\\_eksmpd\\_digital.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/limtre_eksmpd_digital.pdf) (Hentet: 25. februar 2020)

Ohno, T. (1988) *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*, New York. Productivity, Inc.

Omogbai, O., & Salonitis, K. (2017) The implementation of 5S lean tool using system dynamics approach. *Procedia CIRP*. Volume 60, 2017, Pages 380-385. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.01.057>

Oslomet (2020) *Litteratursøk og kildekritikk*. Tilgjengelig fra: <https://student.oslomet.no/litteratursok-kildekritikk> (Hentet: 5 mai 2020)

Pagnoncelli L. & Morales F. (2016) Cross-laminated timber system (CLT): laboratory and in situ measurements of airborne and impact sound insulation, *EuroRegio 2016*, Porto, Portugal, European Acoustic Association.

Paulson, B.C. (1976) "Designing to Reduce Construction Costs." *Journal of the Construction Division* 102 (4): 587-592.

Petersen, A. K., & Solberg, B. (2002). Greenhouse gas emissions, life-cycle inventory and cost efficiency of using laminated wood instead of steel construction.: Case: beams at Gardermoen airport. *Environmental Science & Policy*, 5(2), 169-182. doi: 10.1016/S1462-9011(01)00044-2.

Pöyry (2014) *Markedsanalyse skogsnaering i Norge*. Tilgjengelig fra: <https://www.innovasjon Norge.no/globalassets/0-innovasjon Norge.no/verktoy-og-temasider/mulighetsomrader/bioekonomi-mat-materialer-og-bioenergi/markedsanalyse-skogsnaering-i-norge1610.pdf> (Hentet: 2. mars 2020)

Qu, S. Q. & Dumay, J. (2011) The qualitative research interview. *Qualitative Research in Accounting & Management*, Emerald Group Publishing, vol 8(3), 238-264.

Regjeringen (2018) *Bruk av tre*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/skog-og-utmarksressurser/innsikt/bruk-av-tre/id2009518/> (Hentet. 02. mars 2020)

Reitan N.K., Friquin K.L., Mikalsen R.F. (2019) *Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger – en litteraturstudie*. (RISE-rapport 2019:09) Trondheim: RISE Research Institutes of Sweden AB. Tilgjengelig fra:

[https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/brann/brannsikkerhet-ved-bruk-av-krysslaminert-massivtre-i-bygninger--en-litteraturstudie\\_rise-fire-research\\_2019.pdf](https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/brann/brannsikkerhet-ved-bruk-av-krysslaminert-massivtre-i-bygninger--en-litteraturstudie_rise-fire-research_2019.pdf) (Hentet: 29. april 2020)

Sand R., Stene M. (2016) *VERDISKAPINGSMULIGHETER I TRØNDELAG VED ØKT BRUK AV TRE I BYGGEMARKEDET* (Prosjektnr. 2724) Trøndelag: Trøndelag Forskning og Utvikling AS. Tilgjengelig fra:

<https://tfou.no/wp-content/uploads/2016/05/tfou-arbeidsnotat-2016-101.pdf> (Hentet: 22. april 2020)

Saunders, J. (2019) Cascading potential of wood-based construction types. REWOOD II - WOOD DESIGN FOR DISASSEMBLY - DEL02 A CLIMATE-KIC PATHFINDER PROJECT.

Sosa, S.A., Parada, F.R. (2018) A Theoretical Approach Towards Ressource Efficiency in Multi-Story Timber Buildings Through BIM and LEAN. *WCTE 2018 - World Conference on Timber Engineering, At Seoul, South Korea*, Volume: Part of ISBN: 979-11-6019-235-3.

Sardén, Y. (2005). *Complexity and learning in timber frame housing: the case of a solid wood pilot project*. Doktorgrad, Luleå University of Technology.

SINTEF (2017) *Ny kunnskap om lydisolering i trekonstruksjone*. Tilgjengelig fra:

<https://www.sintef.no/siste-nytt/ny-kunnskap-om-lydisolering-i-trekonstruksjoner/> (Hentet 28. april 2020)

SINTEF Byggforsk (2001) *520.205 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: 24. februar 2020).

SINTEF Byggforsk (2009) *522.891 Etasjeskillere i massivtre*. Tilgjengelig fra:

[https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere\\_i\\_massivtre](https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere_i_massivtre) (Hentet: 23. mars 2020).

SINTEF Certification (2019) *Teknisk godkjenning - Splitkon krysslimt tre*. Tilgjengelig fra:

<https://www.sintefcertification.no/Product/Index/10184>

Skullestad, J. L., Bohne, R. A., & Lohne, J. (2016). High-rise timber buildings as a climate change mitigation measure—a comparative LCA of structural system alternatives. *Energy Procedia*, 96, 112-123. doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.112

George Stalk Jr. & Thomas M. Hout (1990) Competing Against Time, *Research-Technology Management*, 33:2, 19-24, DOI: 10.1080/08956308.1990.11670646

Statistisk Sentralbyrå (SSB) (2019a) *Landsskogtakseringen*. Tilgjengelig fra:

<https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/lst/aar> (Hentet: 2. mars 2020)

Statistisk Sentralbyrå (SSB) (2020) *Skogavvirkning for salg*. Tilgjengelig fra:

<https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogav> (Hentet: 25. april 2020)

Statsbygg (2013) Tre for bygg og bygg i tre - kunnskapsgrunnlag for økt bruk av tre i offentlige bygg. Tilgjengelig fra:

<https://www.statsbygg.no/globalassets/files/publikasjoner/rapporter/treforbyggogbyggitre2013-12238.pdf> (Hentet: 17. mars 2020)

Stora Enso (2019) *1 000 000 m<sup>3</sup>: Stora Enso produces record quantity of CLT in Austria*. Tilgjengelig fra: <http://www.clt.info/en/news/> (Hentet: 24. april 2020)

Structural Timber Association (2014) Fire safety in timber buildings. *Structural Timber Engineering Bulletin 7*. Tilgjengelig fra: <http://www.structuraltimber.co.uk/assets/InformationCentre/eb7.pdf> (Hentet: 16. februar 2020)

Tellnes, L. G., Ganne-Chedeville, C., Dias, A., Dolezal, F., Hill, C., & Zea Escamilla, E. (2017). Comparative assessment for biogenic carbon accounting methods in carbon footprint of products: A review study for construction materials based on forest products. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(5), 815-823.

Tommelein, I. D., & Li, A. (1999). Just-in-time concrete delivery: mapping alternatives for vertical supply chain integration. *Proceedings IGLC* (Vol. 79) p. 97.

Trebruk (2017). *Markedsanalyse massivtremarkedet i Norge 2017-2024*. Tilgjengelig fra: <https://woodworkscluster.no/wp-content/uploads/2017/06/markedsanalyse-massivtre-280217.pdf> (Hentet: 23. februar 2020)

Trebruk (2020). *Markedsanalyse KL-tremarkedet i Norge 2020-2030*. Tilgjengelig fra: <http://www.bi3.no/media/52860/markedsanalyse-230120-ferdig.pdf> (Hentet: 1. mai 2020)

Trefokus (2019). *Limtre*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre> (Hentet: 25. februar 2020)

Trefokus (2011a) *Lydvegg, 100 mm massivtre og 98 mm bindingsverk*. Tilgjengelig fra: [http://www.trefokus.no/resources/filer/massivtre-byggesystemer/248-Lydvegg\\_-100-mm-Massivtre-og-98-mm-bindingsverk-A4\\_A8aFJ.pdf](http://www.trefokus.no/resources/filer/massivtre-byggesystemer/248-Lydvegg_-100-mm-Massivtre-og-98-mm-bindingsverk-A4_A8aFJ.pdf) (Hentet: 21. mai 2020)

Trefokus (2011b) *Lydvegg, 2 x 100 massivtre 13 mm gips på to sider*. Tilgjengelig fra: [http://www.trefokus.no/resources/filer/massivtre-byggesystemer/243-Lydvegg\\_-2x100-Massivtre-13-mm-gips-p-to-sider-A4\\_aprGw.pdf](http://www.trefokus.no/resources/filer/massivtre-byggesystemer/243-Lydvegg_-2x100-Massivtre-13-mm-gips-p-to-sider-A4_aprGw.pdf) (Hentet: 21. mai 2020)

Treteknisk (2006) *Håndbok - bygge med massivtreelementer. Hefte 1. Generelt*. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf> (Hentet: 28. februar 2020)

UN Environment Programme (2019) *Emissions Gap Report 2019*. UNEP, Nairobi. Tilgjengelig fra: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 23. februar 2020)

University of West Florida (2019) *What is citation chaining?* Tilgjengelig fra:  
<https://libguides.uwf.edu/c.php?g=167402&p=4710421> (Hentet 15. februar 2020)

Wohlin, C. (2014) *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering*. Tilgjengelig fra:  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.709.9164&rep=rep1&type=pdf> (Hentet 25. januar 2020)

Woodify (u.å) *Natur*. Tilgjengelig fra:  
<https://woodify-no.webflow.io/produktutlistning/natur> (Hentet 28. mai 2020)

WoodWorks (2012) *Solid advantages*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.woodworks.org/wp-content/uploads/CLT-Solid-Advantages.pdf> (Hentet: 28. april 2020)

## 9 Vedleggsliste

**Vedlegg 1 - Intervjuguide**

**Vedlegg 2 - Observasjonsnotater**

## Generell intervjuveiledning

Bakgrunnen for intervjuet:

Dette intervjuet gjøres i forbindelse med Rune Kruse Måløy og Rasmus Vengens masteroppgave ved *Bygg- og miljøteknikk* på *NTNU*. I oppgaven er det overordnede målet å finne hvordan bruk av prefabrikkerte elementvise byggematerialer i tre, som massiv- og limtre kan bli mer attraktivt sammenlignet med andre byggematerialer. Oppgaven har fokus på bruk av Lean Construction-teori som grunnlag for diskusjon og anbefalinger for å øke produktiviteten i verdikjeden.

Intervjuet tas opp med mikrofon for etter-transkribering, med mindre dette ikke ønskes av intervjuobjektet. I ettertid vil en transkribert versjon av intervjuet sendes, slik at informanten for kan gå over egne utsagn og endre hvis nødvendig.. Masteroppgaven er ikke skrevet i samarbeid med en bedrift, men veiledes av Marit Støre-Valen og Alenka Temeljotov-Salaj ved *NTNU*.

### Intervjuguide for intervju med: Intervjudeltaker

Spørsmål	Svar
Innledning	
Bakgrunn og erfaring	
1. Fortell litt om deg selv og din erfaring fra bransjen. - Erfaring med KL-treprosjekt?	
Del 1: Massivtre og limtre	
2. Kan du fortelle om bedriften du jobber for og deres rolle i et byggeprosjekt?	
3. Hvor i prosessen blir det oftest bestemt materialet for bærekonstruksjonen?	
4. Kan du fortelle litt om markedet til lim- og massivtreprodukter i Norge? - Produsenter og leverandører - Tid fra bestilling til levering - Pris	

5. Hva vektlegges ved valg av produsent? - Påvirker størrelsen på elementene noe i byggeprosjektet?	
6. Kan du nevne fordeler og muligheter ved å bygge i massivtre og limtre?	
7. Hva er ulempene og utfordringene ved å bygge i massivtre og limtre?	
8. Hvordan kan risiko i KL-treprosjekter håndteres og reduseres?	
9. Hva skal til for at det skal bli mer kostnadseffektivt å bygge med lim- og massivtre?	
10. Påvirkes tekniske fag sitt arbeid av å jobbe i massivtrebygg?	
11. Er det noe du ønsker de andre aktørene i et KL-treprosjekt hadde vært flinkere til?	
12. Har du noen konkrete råd til eksempelvis: - produsenter/leverandører - entreprenører - arkitekter - byggherrer	
13. Hva har du lært fra ditt arbeid? - Erfaringer - Feller man kan gå i - Tips	
14. Hvordan er kommunikasjonen mellom de forskjellige aktørene i verdikjeden?	
+ Relevante oppfølgingsspørsmål	
<b>DEL 2 – Lean Construction</b>	
<b>Bakgrunn for prosjektet</b>	
1. Har dere noen ganger brukt Lean-verktøy (som Takt, Last Planner System eller lignende)? - Hender det at andre aktører bruker det?	

2. Har dere noen verktøy som sørger for erfaringsoverføring mellom prosjekter?	
3. Bruker dere noe form for produktivitetmåling? - Sammenligning med andre aktører?	
4. Har dere noen plan for hvordan dere skal forbedre dere i fremtiden eller bli mer produktive?	
5. Er det noen ikke-verdiskapende elementer dere ønsker å fjerne fra arbeidsprosessen?	
6. Er det noe spesielt dere fokuserer på for å oppnå god flyt i produksjonen?	
+ Relevante oppfølgingsspørsmål	
<b>DEL 3 - Avslutning</b>	
1. Har du noe å tilføye som ikke er diskutert underveis?	



## Vedlegg 2 - Observasjonsnotater

### Observasjoner 20. februar 2020.

- 13:00 Opprinnelig møtetidspunkt
- 13:08 Møtet er i gang, og det foregår med videokonferanse der alle har mulighet til å dele skjerm og modell. Åtte deltakere representert: To fra hovedkontoret, én RIB, 5 fra prosjektet (i Bergen). Én representant fra Binderholz mangler, men det fortelles at hun vil komme senere.
- 13:09 Prosjektet blir informert om at to studenter er der og skal observere som en del av masteroppgaven
- 13:10 Deltakerne går rett på sak. Møtet foregår på engelsk, men det virker ikke å være en barriere. Alle responderer raskt og konkret på det som blir sagt, og det virker som om alle får uttrykt seg. Deltakerne virker forberedt og prosjekteringslederen tar en tydelig rolle.
- 13:11 Lyden er litt dårlig.
- 13:12 Diskusjonspunkter ender med avklaring. Prosjekteringsleder spør om ting kan avklares. På delingsskjermen vises prosjektlederens skjerm, hvor hun navigerer i BIMmodellen slik at alle kan se, og det later til at hun har gode kunnskaper om hvordan man skal manøvrere. En av deltakerne har lyst til å se BIMmodellen fra en annen vinkel, og det er noe vanskelig å gjøre seg forstått. Uttrykker at han gjerne skulle hatt den muligheten.
- 13:17 To prater under en diskusjon. Må bli gjentatt.
- 13:20 Prosjektleder varierer mellom å dele skjerm av møtereferatet og av prosjektmodellen. I referatet skrives kort og presist hva som har blitt avtalt og valgt løsning.
- 13:25 Møtedeltaker går på toalettet.
- 13:35 RIB fremstår svært faglig dyktig, og kommer med råd og innspill i diskusjonen som fører til avgjørelse. Det snakkes generelt sett mye om tidligere korrespondanse, og at formålet er å lukke de allerede diskuterte punktene.
- 13:40 RIB refererer til sin samarbeidspartner som ikke er tilgjengelig der og da. Hans deltakelse kunne ha ført til avklaring.
- 13:45 Diskusjon rundt hvor radonsperren skal ligge. Ender ikke med avklaring.
- 13:55 Kort innspill fra RIB vedrørende om entreprenør vil velge å unngå limtrebjelker i taket, da byggherre ikke har bedt spesifikt om at det skal kunne henge noe fra taket. Det vil være kostnadsbesparende hevder han.
- 13:58 Kameraavbrudd, varighet ca. 10 sek.
- 14:01 Forsinket deltaker kommer til møte. Har ikke kamera. Det brukes tid på å oppdatere henne på allerede diskuterte temaer.
- 14:07 Noen deltakere på møtet i Bergen forholder passive under en del av diskusjonen.
- 14:15 Prosjekteringsleder navigerer fint i modellen og er målrettet. Spør om bekreftelse på at alle har forstått.
- 14:20 En møtedeltaker virker særlig entusiastisk og viser begeistring når ting blir avklart. Virker å smitte over på de andre, og skaper latter.
- 14:30 Opprinnelig sluttidspunkt
- 14:34 Møtet slutt.

## Vedlegg 2 - Observasjonsnotater

### Observasjoner 27. februar 2020.

- 13:00 Opprinnelig møtetidspunkt
- 13:04 Faglig samtale mellom RIBene tok sted før møtet begynte, men etter klokke 13.00.
- 13:12 Møtet er igang.  
Deltakere er RIB x 2 fra Spania, prosjektledelsen i Bergen (5 stk), prosjekteringsleder i Trondheim + 2 studenter for observasjon. Binderholz er ikke med i dag. Prosjekteringsleder reiser til Bergen om én uke for å ha møter der. Hun ønsker i den forbindelse å ta opp ting som skal diskuteres når hun kommer.
- 13:14 Dårlig lyd innledningsvis. Pågår noen minutter.
- 13:15 Deltaker går ut, uvisst grunn.
- 13:17 Prosjekteringslederen i Trondheim, RIB (2) og prosjektleder Bergen kan dele skjermer og det virker positivt. Det oppstår en situasjon der en av de andre deltakerne gjerne skulle kunne delt sin skjerm også.
- 13:20 Deltaker (1) oppleves blid og skaper latter. Uttrykker flere ganger «Thumbs up!» når ting avklares
- 13:22 Binderholz ikke med på møtet, men blir nevnt flere ganger.
- 13:30 RIB (1) veldig saklig.
- 13:32 Prosjektstaben i Bergen har flere personer som ikke deltar aktivt i samtalen. En sitter på mobilen.
- 13:35 Det diskuteres endringer i grunnmur/sokkel. Endres dette vil ikke levering av tegninger være klart til avtalt tid i uke 10. Forsinkelsene vil bero på hvor raskt HENT og ark blir enige. minimum en uke forsinkelse.
- 13:45 Prosjekteringsleder går for å fylle vann. Diskusjonen som pågår er mellom Bergenskontoret og RIB (1) og handler om plassering av søyle.
- 13:47 Deltaker (1) sin mobil ringer. Han går ut og ringer opp.
- 13:49 Prosjekteringsleder er normalt flink til å navigere i BIMmodellen, men noe kluss oppstår i modellen med hvordan man fjerner riktige lag for å se de rette elementene. RIB (1) prøver å forklare.
- 13:50 Det diskuteres rundt plassering av glasselement mot betongfundament. RIB (1) blir litt irritert fordi Deltaker (2) er uenig i posisjonen til glasselement mot betongfundament. RIB (1) mener han ikke har blitt informert om detaljen og at løsningen er ulogisk. Diskusjonen mellom RIB (1) og Deltaker (2) tar lang tid - ca. 12 minutter. Det er bare de som diskuterer.
- 13:57 Varierende lyd av og til. Stjeler ikke nevneverdig tid. Vanskelig å høre en fra prosjektledelsen i Bergen.
- 13:58 Deltaker (1) i Bergen snakker til Prosjekteringsleder i Trondheim på norsk. Spanjolene spør hva som blir sagt.
- 14:02 Deltaker blir lei av diskusjonen som startet 13:50, og når en av de andre på bergenskontoret melder seg på i diskusjonen gjør han de andre bevisst på at de har diskutert lenge, og at dette ikke vil bli løst nå. Møtet går videre.
- 14:05 RIB (2) tar opp ting som ikke er på agendaen.
- 14:16 En av deltakerne fra Bergen forlater møtet for å gå på toalettet.
- 14:17 Diskusjonen om glassfasaden blir tatt opp igjen, etter at RIB (1) har sjekket opp.
- 14:30 Opprinnelig sluttidspunkt.
- 14:30 Planlegger neste møte i Bergen. Prosjekteringsleder og deltaker (2) skal diskutere plassering av radonduk neste uke. Plassering av dette ble diskutert sist møte også. Deltaker (2) har mutet Trondheim, og Prosjekteringsleder må gjenta.
- 14:36 Møtet avsluttes.

