

Massivtre og Plasstøpt betong: en casestudie

- forskjeller, erfaringer og forbedringspotensial

Torstein Østnor

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Ola Lædre, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Oppgavens tittel: Massivtre og Plassøpt Betong: en casestudie - forskjeller, erfaringer og forbedringspotensial	Dato:08.06.2018		
	Antall sider (inkl. bilag): 138		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Torstein Østnor			
Faglærer/veileder: Ola Lædre			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Sigbjørn Faanes, Veidekke Entreprenør Trøndelag			

Ekstrakt:

Laminert tre, også kalt massivtre, er et relativt nytt konstruksjonsmateriale for fleretasjes bygninger. Laminert tre er trevirke som trykklamineres i flere lag med lim enten med trefiberretning parallelt eller ortogonalt på hverandre for å øke styrken. Massivtre representerer en mulighet til å redusere CO₂- utslipp i boligbygging. Utfordringen er at kostnadsnivå relativt til det etablerte betongalternativet ikke er kjent, og fordeler og ulemper dårlig kartlagt.

Masteroppgaven besvarer tre problemstillinger: 1) Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plassøpt betong, og hva er bakgrunnen for forskjellene? 2) Hvilke erfaringer knyttes til bruk av massivtre i boligprosjekt? 3)

Hvordan kan entreprenøren forbedre boligbygging i massivtre?

Studien startet med et innledende litteratursøk. Masteroppgaven har fulgt en case, Maskinparken 2 og TRE, på Lilleby i Trondheim. Det empiriske materialet fra casen er innhentet gjennom 13 fokuserte semi-strukturerte intervjuer med representanter fra Veidekke Entreprenør Trøndelag og prosjekteringsteamet, observasjon i prosjekteringsmøter og gjennom dokumentstudier.

Resultatene fra denne studien viser at bygging i massivtre krever mer ressurser i alle delprosesser av byggeprosessen enn bygging i betong. Det er hovedsakelig ringvirkninger fra brann- og akustikk-fagene som fører til mer arbeid.

Det er et behov for å utvikle mange nye konstruksjonsdetaljer, i mangel på pre-aksepterte løsninger. Det er her hovedforskjellene mellom de to byggemetodene ligger. En av fordelene med massivtre er en relativt rask montasje av elementer, noe som gir kortere byggeperiode. HMS forbedres også på byggeplass pga. massivtreet. Gjennom mindre bruk av betong fremstår bygging med massivtre som mer klimavennlig enn ved å bygge med betong.

For å løse de spesielle utfordringene ved å bygge i massivtre bør rådgivere og prosjekterende involveres tidlig i byggeprosessen. Entreprenøren bør sette av nok og riktige ressurser slik at samhandlingen mellom delprosessene bidrar til å skape løsninger med god byggbarhet. Byggeplassen og varemottak kan i fremtidige massivtre-prosjekter optimaliseres mer for å få utnyttet potensialet som ligger ved bruken av massivtre.

Stikkord:

1. Massivtre/ CLT
2. Betong
3. Forskjeller
4. Prosjektering og Produksjon

Torstein Østnor

FORORD

Denne masteroppgaven er resultatet av det individuelle arbeidet, og evalueringsgrunnlaget, i faget TBA 4910 Prosjektledelse masteroppgave. Masteroppgaven er gjennomført ved Institutt for bygg og miljøteknikk ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU), og i samarbeid med Veidekke Entreprenør Trøndelag. Oppgavens omfang er på 30 studiepoeng, vårsemesteret 2018.

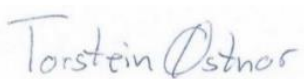
Masteroppgaven ble tilbudt til undertegnede av Veidekke Entreprenør Trøndelag i forbindelse med sommerjobb i 2017. Oppgaven besto av å sammenligne bygging av ei boligblokk i massivtre og ei i plasstøpt betong. Veidekke har delt det aktuelle byggeprosjektet inn i to masteroppgaver, hvor denne oppgaven tar for seg første del av prosjektet. En påfølgende oppgave tar for seg siste del av prosjektet. Bakgrunnen for oppgaven er ønsket om å finne ut hvilke forskjeller og hvilke kostnadsforskjeller det er mellom å bygge boligblokk i massivtre og i betong. Gjennom sommerjobben ved det aktuelle prosjektet fikk jeg motivasjon og inspirasjon til å forhåpentligvis være med å utvikle en ny og mer miljøvennlig byggemetode.

Masteroppgaven er delt i tre deler. Hoveddelen, del 1, er en tradisjonell masterrapport utformet som en vitenskapelig rapport, på norsk. Del 2 er et vitenskapelig paper, på engelsk. Det har tittelen «*Laminated timber versus on-site cast concrete: a comparative study*». Formålet med det vitenskapelige paperet er å gi et bidrag til den 26. årlige konferansen til «International Group for Lean Conference». Siste del av oppgaven, del 3, er vedlegg som følger med den tradisjonelle masterrapporten i del 1.

I arbeidet med masteroppgaven har jeg hatt en hovedveileder ved instituttet og en ekstern veileder ved Veidekke. Jeg vil takke hovedveileder Ola Lædre for godt samarbeid, spesielt med tanke på gode og konstruktive diskusjoner når det gjaldt metode samt disposisjon av oppgave og paper. Videre vil jeg takke ekstern veileder Sigbjørn Faanes for god sparring og innspill med hensyn på innholdet i masteroppgaven. Jeg vil også takke medstudent Petter Halseth, som skal utføre den påfølgende masteroppgaven fra samme case, for gode diskusjoner og innspill under arbeidet med oppgaven generelt og under arbeidet med litteratursøket spesielt. Til slutt vil jeg takke Aud Aa. Østnor, Unni B. Finne og Vilde Finne for gode innspill gjennom korrekturlesing av del 1.

Trondheim, juni 2018

Torstein Østnor



SAMMENDRAG

Laminert tre, også kalt massivtre, er et relativt nytt konstruksjonsmateriale for fleretasjes bygninger. Laminert tre er trevirke som trykklamineres i flere lag med lim, enten med trefiberretning parallelt eller ortogonalt på hverandre, for å øke styrken. Massivtre representerer en mulighet til å redusere CO₂-utslipp i boligbygging. Utfordringen er at kostnadsnivå relativt til det etablerte betongalternativet ikke er kjent, og fordeler og ulemper dårlig kartlagt.

Masteroppgaven besvarer tre problemstillinger: 1) Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plaststøpt betong, og hva er bakgrunnen for forskjellene? 2) Hvilke erfaringer knyttes til bruk av massivtre i boligprosjekt? 3) Hvordan kan entreprenøren forbedre boligbygging i massivtre?

Studien startet med et innledende litteratursøk. Masteroppgaven har fulgt en case, Maskinparken 2 og TRE, på Lilleby i Trondheim. Det empiriske materialet fra casen er innhentet gjennom 13 fokuserte semi-strukturerte intervjuer med representanter fra Veidekke Entreprenør Trøndelag og prosjekteringsteamet, observasjon i prosjekteringsmøter og gjennom dokumentstudier.

Resultatene fra denne studien viser at bygging i massivtre krever mer ressurser i alle delprosesser av byggeprosessen enn bygging i betong. Det er hovedsakelig ringvirkninger fra brann- og akustikk-fagene som fører til mer arbeid. Det er et behov for å utvikle mange nye konstruksjonsdetaljer, i mangel på pre-aksepterte løsninger. Det er her hovedforskjellene mellom de to byggemetodene ligger. En av fordelene med massivtre er en relativt rask montasje av elementer, noe som gir kortere byggeperiode. HMS forbedres også på byggeplass pga. massivtreet. Gjennom mindre bruk av betong fremstår bygging med massivtre som mer klimavennlig enn ved å bygge med betong.

For å løse de spesielle utfordringene ved å bygge i massivtre bør rådgivere og prosjekterende involveres tidlig i byggeprosessen. Entreprenøren bør sette av nok og riktige ressurser slik at samhandlingen mellom delprosessene bidrar til å skape løsninger med god byggbarhet. Byggeplassen og varemottak kan i fremtidige massivtre-prosjekter optimaliseres mer for å få utnyttet potensialet som ligger ved bruken av massivtre.

Masteroppgaven består av tre deler: 1) en masteroppgave-rapport, 2) et paper til IGLC-konferansen 2018 og 3) vedlegg tilhørende masterrapporten.

SUMMARY

Laminated timber, also named mass timber, is a relatively new construction material for multistory buildings. Laminated timber is timber which is glue laminated in several layers parallel or orthogonal on each other in order to increase the strength. Mass timber represents an opportunity to reduce the CO₂- emissions from the construction of multistory apartment buildings. The challenge is that the costs compared to the concrete alternative is unknown and pros and cons poorly investigated

This master-thesis answers three research questions: 1) Which differences is associated to construction in mass timber and concrete, and what's the reasons?, 2) Which experiences is linked to the use of mass timber in housing projects? and 3) How can the contractor improve construction in mass timber?

The study started with preliminary literature review. The master-thesis has investigated a case, Maskinparken 2 and TRE, at Lilleby in Trondheim. The empirical material from the case has been collected through 13 interviews with representatives from the contractor and five sub-contractors, through observation in design meetings and a study of documents from the case.

The results show that construction in mass timber demands more resources in all subprocesses than construction in concrete. It is mainly repercussions from fire and acoustic art which lead to more comprehensive work. It is a need for developing many new construction details, in lack of pre-accepted solutions. One of the benefits of mass timber is a relatively fast assembly process of the elements. This lead to shortened construction period. HSE on the construction site also improves because of the mass timber. Through less usage of concrete, construction with mass timber appears more climate-friendly than construction in concrete.

In order to solve the special challenges consultants and engineers should be involved early in the design process. The contractor should prioritize to direct enough and the right resources to make sure that the interaction between the sub processes is good. The construction site and the goods receipt can in the future be more optimized to exploit the potential that mass timber hold.

The master-thesis consists of three parts: 1) one master-report, 2) one IGLC-paper and 3) an appendix that belong to the master-report

INNHOLDSFORTEGNELSE

MASTEROPPGAVE

FORORD.....	I
SAMMENDRAG.....	III
SUMMARY.....	V
INNHOLDSFORTEGNELSE.....	VII
FIGURLISTE.....	IX
TABELLISTE.....	IX
FORKORTELSER.....	XI
DEL 1: MASTERRAPPORT.....	1
1. INTRODUKSJON.....	3
1.1. BAKGRUNN.....	3
1.2. KUNNSKAPSGAPET.....	5
1.3. FORMÅL OG PROBLEMSTILLINGER.....	6
1.4. AVGRENSENINGER.....	6
1.5. MASTEROPPGAVENS DISPOSISJON.....	7
2. METODE.....	9
2.1. METODE I FORSKNING.....	9
2.1.1. KVANTITATIVE OG KVALITATIVE METODER.....	9
2.1.2. METODEVALG.....	10
2.1.3. VURDERINGSKRITERIER FOR ANVENDTE METODER.....	11
2.2. LITTERATURSTUDIET.....	12
2.2.1. AVGRENSENINGER.....	12
2.2.2. FREMGANGSMÅTE.....	12
2.2.3. VURDERING AV LITTERATURSTUDIET SOM METODE.....	15
2.3. CASESTUDIET.....	17
2.3.1. BESKRIVELSE AV CASE.....	17
2.3.2. INTERVJUER.....	19
2.3.3. OBSERVASJON.....	23
2.3.4. DOKUMENTSTUDIER.....	26
2.4. FORDELING AV ARBEID.....	28
2.4.1. IGLC-PAPER.....	28
2.4.2. MASTERRAPPORT.....	29
3. TEORETISK GRUNNLAG.....	31
3.1. BÆRESYSTEMER.....	32
3.1.1. PLASSTØPT BETONG OG STÅLSØYLER.....	32

3.1.2.	MASSIVTRE - CLT	33
3.2.	BRANN, AKUSTIKK OG BYGNINGSFYSIKK VED BRUK AV CLT	35
3.2.1.	BRANN	35
3.2.2.	AKUSTIKK	36
3.2.3.	BYGNINGSFYSIKK	37
3.3.	BYGGEPROSESSEN	38
3.4.	USIKKERHETEN I BYGGEPROSESSEN	39
3.5.	ØKONOMI OG FREMDRIFT	41
3.5.1.	BYGGEKOSTNAD	41
3.5.2.	BYGGETID	42
3.6.	LEAN OG INVOLVERENDE PLANLEGGING	42
3.6.1.	LEAN CONSTRUCTION	42
3.6.2.	LAST PLANNER SYSTEM	43
3.6.3.	INVOLVERENDE PLANLEGGING	43
3.6.4.	TAKTPANLEGGING	44
4.	RESULTATER OG DISKUSJON	45
4.1.	FORSKJELLER VED Å BYGGE I MASSIVTRE OG BETONG	45
4.1.1.	DESIGNPROSESS	45
4.1.2.	PROSJEKTERINGSPROSESS	49
4.1.3.	PRODUKSJONSPROSESS	56
4.2.	ERFARINGER FRA BYGGEPROSESSEN	64
4.2.1.	DESIGNPROSESS	64
4.2.2.	PROSJEKTERINGSPROSESS	66
4.2.3.	PRODUKSJONSPROSESS	71
4.3.	FORBEDRING AV BYGGEPROSESSEN	76
4.3.1.	DESIGNPROSESS	76
4.3.2.	PROSJEKTERINGSPROSESS	77
4.3.3.	PRODUKSJONSPROSESS	79
5.	KONKLUSJON	83
5.1.	FORSKJELLER VED Å BYGGE I MASSIVTRE OG BETONG	83
5.2.	ERFARINGER FRA BYGGEPROSESSEN	86
5.3.	FORBEDRING AV BYGGEPROSESSEN	87
6.	VIDERE ARBEID	91
6.1.	PÅFØLGENDE MASTEROPPGAVE FRA CASE, MP2 OG MP3	91
6.2.	ANDRE AVGRENSNINGER	92
	REFERANSER	93

DEL 2: IGLC-PAPER (VITENSKAPELIG ARIKKELE).....	1
LAMINATED TIMBER VERSUS ON-SITE CAST CONCRETE: A COMPARATIVE STUDY	3
DEL 3: VEDLEGG	i
VEDLEGG 1, SØKEMATRISE	ii
VEDLEGG 2, SØKEMOTORER.....	v
VEDLEGG 3, INTERVJUGUIDER	vi
INTRODUKSJON	vi
INTERVJUGUIDE 1	vii
INTERVJUGUIDE 2	xi
INTERVJUGUIDE 3	xiv
VEDLEGG 4, OBSERVASJONSSKJEMA.....	xvi

FIGURLISTE

Figur 1: Validitet og reliabilitet- fokus versus presisjon	11
Figur 2: Maskinparken TRE og Maskinparken 2	17
Figur 3: Lokasjon til casen, Maskinparken 2 og TRE, i Trondheim	18
Figur 4: Forskaling for plasstøpt betong	32
Figur 5: Montasje av veggelement i CLT.....	34
Figur 6: Montasje av CLT på byggeplassen på Lilleby.....	34
Figur 7: Byggeprosessens faser.....	38
Figur 8: Usikkerhet og akkumulerte kostnader	40

TABELLISTE

Tabell 1: Kapittelbeskrivelse for masteroppgaven	7
Tabell 2: VIKO`s evalueringskriterier av litteratur, TONE-prinsippet	15
Tabell 3: Faglige begreper.....	31
Tabell 4: Kostnader fra designprosessen.....	49
Tabell 5: Kostnader fra prosjekteringsprosessen.....	54
Tabell 6: Kostnader fra produksjon.....	62
Tabell 7: Identifiserte forskjeller mellom å bygge med CLT og betong	84
Tabell 8: Erfaringer fra byggeprosessen.....	86
Tabell 9: Forslag til forbedring av bygging med CLT	88

FORKORTELSER

- CLT – Cross Laminated Timber (Krysslaminert tre)
 - LCA – Life Cycle Assessment (Livsløpsvurdering)
 - VDT – Veidekke Entreprenør Trøndelag
 - IMRAD – Introduksjon, metode, resultat og metode
 - IGLC – International Group for Lean Construction
 - NTNU – Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet
 - TONE – Troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet
 - MP2 – Maskinparken 2
 - MP3 – Maskinparken TRE
 - TEK – Teknisk forskrift
 - VTEK – Veiledning til teknisk forskrift
 - IP – Involverende planlegging
 - LPS – Last planner system
 - RIB – Rådgivende ingeniør bygg
 - RIB-MT – Rådgivende ingeniør bygg for massivtre
 - BRA – Bruttoareal
 - NOK – Norske kroner
-
- bl.a. – blant annet
 - vs. – versus
 - evt. – eventuelt
 - o.l. – og lignende
 - hhv. – henholdsvis
 - f.eks. – for eksempel
 - dvs. – det vil si
 - pga. – på grunn av
 - pr. – per
 - pre.fab. – prefabrikkert
 - fom. – fra og med

DEL 1: MASTERRAPPORT

1. INTRODUKSJON

Introduksjonen av masteroppgaven gir bl.a. en presentasjon av bakgrunn for oppgaven og kunnskapsgapet innenfor tematikken massivtre vs. betong. Kapittelet inneholder også formål, problemstillingene og oppgaveteksten knyttet til oppgaven. Påfølgende kommer en gjennomgang av avgrensingene av oppgaven, og til prosjektet som er benyttet som case. Introduksjonen inneholder til slutt en leserveiledning som beskriver oppgavens oppbygning.

1.1. BAKGRUNN

Gjennom Parisavtalen har Norge sluttet seg til målet om å begrense den globale oppvarmingen til 2 grader og tilstrebe å begrense denne til 1,5 grader¹. Dette gjør at Norge har som målsetning å redusere utslippene av klimagasser med 40%. Byggesektoren står for en relativ andel av Norges utslipp på 13,5% CO_{2ekv}². Og det er spesielt produksjon av byggematerialer som bidrar mye. Reduserende tiltak det legges vekt på i klimahandlingsplanen er bl.a. å utvikle produkter og løsninger med lavere CO₂-utslipp.

Betong er tradisjonelt i Norge det vanligste materialet til bærekonstruksjoner i store bygg og anlegg³. I boligbygging er bæresystemer i betong og stål godt etablert praksis. Produksjonsprosessen og byggemetodene er effektivisert og innarbeidet. Bestanddelen sement i byggematerialet betong gir store utslipp av CO₂ i fremstillingsprosessen (Jacobsen et al., 2016). I prosessen dekomponeres kalkstein, som inneholder hovedsakelig kalsitt (CaCO₃). Dette gir reaksjonsligningen $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, og følgelig betydelige CO₂-utslipp. Ulike sementtyper gir ulikt utslipp av CO₂. Det ligger typisk mellom 506-862 kg CO_{2-ekv}/tonn ferdig sement for norske sementtyper. Dette viser at betong er en stor bidragsyter til CO₂-utslipp i byggesektoren.

«Hogst av skog, produksjon av trematerialer og husbygging har alltid vært en viktig økonomisk aktivitet i Norge»³ Tre er det viktigste bygningsmaterialet i Norge. Ca. halvparten av trevirket går til trelastindustrien. I de store skogområdene på Østlandet og i Midt-Norge har treindustri vært, og er, en viktig næring. Produkter av limte treprodukter, også kalt limtre og massivtre, til

¹ Klima-og-miljødepartementet (2016). "Norge har ratifisert Parisavtalen."

<<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norge-har-ratifisert-parisavtalen/id2505365/>>

² Byggemiljø (2007). "Innspill til sektorvis klimahandlingsplan for byggesektoren."

<https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/md/vedlegg/forurensing/et-klimavennlig-norge/byggenaeringens_miljosekretariat2.pdf>.

³ Nærings-og-fiskeridepartementet (2005). "Faktahefte om norsk næringsliv."

<https://www.regjeringen.no/no/dokument/dep/nfd/veiledninger_brosjyrer/2005/Faktahefte-om-norsk-naringsliv/12/id275584/>.

bruk i bærende konstruksjoner som bruer og større bygninger er ny teknologi som gir muligheter til å bruke trevirke i nye anvendelsesområder. Bruken av Cross Laminated Timber (CLT), som nå er den riktige betegnelsen på det som frem til nå har blitt kalt massivtre, har den siste tiden økt (Valmøt, 2018). Den norske oversettelsen av CLT, som foreløpig er lite brukt, er krysslåst tre eller forkortet til kl-tre. Massivtre eller CLT er i dag de mest brukte betegnelse.

LCA-analyser av systemet fundament og bæresystem for betong- og massivtre-bygg opp til 21 etasjer, viser at massivtre kan gi en besparelse på 34-84% i CO₂-utslipp (Skullestad et al., 2016). Reduksjonen i CO₂-utslipp avhenger av antall etasjer, og LCA-analysene er ikke gjennomført for fysisk utførte byggeprosjekter. Analysene gir likevel stor grunn til å tro at et ferdig boligbygg i massivtre har et lavere CO₂-fotavtrykk enn tilsvarende boligbygg i betong.

Man har allerede kunnet bevise at det er mulig å bygge høye og større bygg med bærekonstruksjon i CLT og limtre (Van De Kuilen et al., 2011). Det er bevist at CLT er veldig effektivt for bygg opp til ti etasjer. Med en betongkjerne og 80% CLT-andel er det også bevist at man kan bygge opp til 150m høye bygg.

Til nå har bygg i massivtre, mer spesifikt CLT, vært unike bygg og signalbygg som ikke er satt i masseproduksjon. Det vil si at man i Norge ennå ikke har faset CLT inn i volumsegmentet boligproduksjon. De siste årene har bruken av CLT begynt å skyte fart for andre type bygg i Norge. Av utførte, og nåværende større prosjekter hvor man har brukt treverk med betegnelsen massivtre kan bl.a. nevnes:

- Svartlamoen ungdomsbolig/studentbolig, Trondheim 2005
- Studentboliger, Ås 2013
- Moholt 50|50, studentboliger, Trondheim 2016
- Studentboliger, Fredrikstad 2016
- Mjøstårnet, Brumunddal (under bygging)

Veidekke Entreprenør Trondheim (VDT) var totalentreprenør i prosjektet Moholt 50|50 (Vatne and Drevland, 2016). Veidekke ASA var også totalentreprenør ved prosjektet studentboliger på Ås (Finstad, 2014). VDT mener CLT kan være en av veiene å gå for å redusere klimagassutslipp i boligbygging. Derfor gikk de i 2017 i gang med et boligprosjekt på Lilleby i Trondheim. Her ble to boligblokker ført opp ved siden av hverandre. Ei blokk, Maskinparken 2, i betong og stål med tradisjonelle pre-aksepterte bygg-detalljer og kjente metoder. Den andre, Maskinparken TRE, skal føres opp med bæresystem av CLT og limtrebjelker. For oppføring av boligblokker i CLT er erfaringene og kunnskapen begrenset. VDT ønsket derfor å kartlegge forskjellene ved

å bygge med betong og stål og med CLT, for finne ut hva forskjellene evt. kom av. Spesielt hvordan den nye byggemetoden spiller inn på prosjektøkonomien.

1.2. KUNNSKAPSGAPET

I dag er det lite allment kjent kunnskap om forskjellene boligproduksjon i CLT og betong og stål. Dette kommer av at det som nevnt over, er få boligprosjekter som er ført opp med CLT som bæresystem. Det er lite kunnskap om dette både for prosjektering og produksjon. Gjennom faget TBA 4128, Prosjektledelse videregående kurs ble det utført en litteraturstudie med tema massivtre/CLT og plasstøpt betong. Det ble klart at det finnes noe publisert litteratur som omhandler funksjonsforskjeller mellom de to typene bygg. Det er imidlertid veldig lite publikasjoner rundt de økonomiske forskjellene, og bakgrunn for disse ved prosjektering og produksjon av slike bygg. Dette ser ut til å være gjeldende både i Norge og på global basis. Den kunnskapen som finnes på området er mest sannsynlig bare kunnskap «in house» hos de få aktørene som til nå har bygget med CLT. Det gir grunn til å tro at det er et allment kunnskapshull ved denne tematikken.

I Norge, og i Norden, finnes noen relevante bachelor- og masteroppgaver som omhandler ulikheter mellom de to typene bygg. Bl.a. Thomas Finstad leverte i 2014 en masteroppgave som hadde som formål å undersøke om det kunne være økonomisk lønnsomt å benytte massivtre. Han sammenlignet da dette alternativet mot stål og prefabrikkerte betongelementer. Det nevnte studentboligprosjektet fra Ås ble brukt som case.

Ryan E. Smith et. al. publiserte i 2017 en artikkel hvor de beskrev en evaluering av ytelsen til «*mass timber*» i byggeprosjekter, for kostnad og fremdrift. Her ble noen massivtre-prosjekter sammenlignet med erfaringstall fra lignende plassbygde konstruksjoner.

For at CLT skal bli en konkurrent til plasstøpt betong, og andre bærekonstruksjoner, er det viktig å samle kunnskap og erfaringer fra de prosjektene som tar i bruk dette nye bæresystemet. Dette for å øke det generelle kunnskapsnivået i bransjen og slik at man kan forbedre den nye byggemetoden. Denne masteroppgaven vil derfor søke å bidra til å tette deler av kunnskapshullet, og danne grunnlaget for videre arbeid i en påfølgende masteroppgave i høsten 2018.

1.3. FORMÅL OG PROBLEMSTILLINGER

Målsetningene til masteroppgaven baseres på en oppgavetekst fra VDT og bakgrunnsbeskrivelsen. Prosjekt- og masteroppgaven er oppgaver som er skrevet i samarbeid med, og for, VDT. De har formulert følgende oppgavetekst til masteroppgaven:

Masteroppgaven vil gå ut på å finne forskjeller mellom å bygge i massivtre og på tradisjonell måte med stål og plasstøpt betong. Målet er å finne elementer i Maskinparken TRE hvor det kan gjøres tiltak for å forbedre den type byggeprosjekt. Primært er ønsket ved oppgaven å finne ut forskjeller i kostnader og underliggende årsaker til disse. For å løse oppgaven brukes Maskinparken 2 og TRE på Lilleby som case.

Denne masteroppgaven vil dermed ha som hovedmål å kartlegge forskjellene mellom de to byggemetodene i casen på Lilleby. Oppgaven vil også gå ut på å legge til rette for en påfølgende masteroppgave. For å besvare oppgaven er påfølgende problemstillinger utformet.

Problemstillinger:

- 1. Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plasstøpt betong, og hva er bakgrunnen for forskjellene?*
- 2. Hvilke erfaringer knyttes til bruk av massivtre i boligprosjekt?*
- 3. Hvordan kan entreprenøren forbedre boligbygging i massivtre?*

Disse problemstillingene er utformet for at oppgaven på best mulig måte skal være i stand til å besvare oppgaveteksten gitt av Veidekke.

1.4. AVGRENSNINGER

Masteroppgaven ble til undertegnede tilbudt av Veidekke Entreprenør Trøndelag med formål om å avdekke forskjellene ved å bygge i massivtre og i betong. Det var da naturlig å avgrense oppgaven til det casen Veidekke hadde tilgjengelig og ønsket å se nærmere på. I denne oppgaven er det derfor ett case, prosjektet Maskinparken 2 og Maskinparken TRE, som benyttes for å besvare problemstillingene. Denne avgrensingen er også naturlig for å kunne gå litt dypere slik at en kan skape en bedre forståelse av hva det vil si å bygge i massivtre.

De forskningsmetoder som er benyttet er avgrenset til 1) en innledende litteraturstudie, 2) et observasjonsstudie, 3) 13 fokuserte semi-strukturerte intervjuer og 4) et dokumentstudie. Litteraturstudiet gjøres for å kartlegge «state of the art» for bygging i og med massivtre. Casestudiet, bestående av observasjoner, intervju og dokumentstudier, gir informasjon fra casen som benyttes til å besvare problemstillingene.

Av hensyn til progresjonen i prosjektet våren 2018 har Veidekke delt hele prosjektet i to masteroppgaver. Denne oppgaven er derfor avgrenset til å omhandle design-, prosjekterings- og produksjonsprosessen frem til bæresystemene er satt opp og innredningsarbeidet starter. Besvarelse av problemstillingene gjøres derfor med bakgrunn i denne avgrensingen. Mer om innholdet i den påfølgende masteroppgaven i kapittel 7, Videre arbeid.

Denne oppgaven er også avgrenset ved at fokuset først og fremst ligger på de forskjellene som gir kostnadsforskjeller mellom de to byggemetodene i prosjektet. Det er derfor ikke en særlig dyp miljøbetraktning av byggematerialene i denne oppgaven. Dette er både av hensyn til oppgaveteksten og tiden til rådighet.

1.5. MASTEROPPGAVENS DISPOSISJON

Masteroppgavens disposisjon følger IMRAD-formatet⁴ samt råd og retningslinjer for rapportskriving fra Institutt for bygg og miljøteknikk. IMRAD står for Introduksjon, metode, resultat og diskusjon. Resultatene er delt i ulike momenter som diskuteres fortløpende, resultat og diskusjon er derfor ett kapittel. Kapittelinndeling av oppgaven beskrives i tabell 1:

Tabell 1: Kapittelbeskrivelse for masteroppgaven

Kapittel	Innhold
1. Introduksjon	Inneholder og beskriver bakgrunn for arbeidet, kunnskapsgapet, oppgavetekst, formål og problemstillinger, avgrensinger og gir en leserveiledning.
2. Metode	Kvalitetssikrer arbeidet gjennom å dokumentere hvordan det er utført og hva arbeidet består av. Metodene som er brukt beskrives slik at det kan reproduseres eller etterprøves. Styrker og svakheter ved disse metodene vurderes både generelt og case-spesifikt.
3. Teoretisk grunnlag	Beskriver begreper, konsepter og presenterer relevant bakgrunnsteori fra litteraturstudier. Dette er teoretisk grunnlag som er relevant for problemstillingen og som kan være med å danne et grunnlag for analysene av resultatene.
4. Resultat og diskusjon	Resultatene fra case-studiet presenteres på en klar, saklig og objektiv måte. Resultatene analyseres og vurderes etter hvert som de presenteres. Diskusjonen danner grunnlaget for konklusjonskapittelet.

⁴ VIKO (2017). "Oppgavens struktur." <<https://www.ntnu.no/sekom/oppgavens-struktur>>.

5. Konklusjon	Konklusjonen redegjør for hvordan funnene innvirker på det aktuelle temaet og svarer på problemstillingene i oppgaven.
6. Videre arbeid	Basert på konklusjonen redegjøres det for hvordan arbeidet kan videreføres i påfølgende masteroppgave, høsten 2018. Gir også en beskrivelse av tema som ikke behandles i den påfølgende masteroppgaven.
7. Referanser	Informasjonsgrunnlaget som er brukt i oppgaven gis i en liste over anvendte kilder.
8. IGLC-paper	Et paper som er utviklet for publisering ved den årlige Lean-konferansen til International Group for Lean Construction (IGLC). Inneholder utvalgte deler av resultater og funn fra masteroppgaven, skreddersydd for IGLC-konferansen.
9. Vedlegg	Vedleggene inneholder relevant informasjon, som ikke er med i oppgavebesvarelsen. Dette er supplerende informasjon som er med på å understøtte innholdet i oppgaven. Her finnes bl.a. intervjuguide, observasjonsguide og annen informasjon som ikke er direkte med i oppgavebesvarelsen.

2. METODE

Metoden er en planmessig fremgangsmåte, gjerne grunnet på regler og prinsipper, spesielt innen vitenskapen og filosofien⁵. Ordet, metode, kommer av det greske ordet *methodos*, som betyr å følge en bestemt vei mot et mål, forskning. Forskning er igjen en «prosess som gjennom systematisk arbeid kan frembringe nye kunnskaper og økt viten»⁶. Dalland (2012) siterer Vilhelm Aubert (1985) slik; «En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme frem til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener formålet, hører med i arsenalet av metoder».

Metodekapittelet gir en oversikt over hvilken metodisk tilnærming som er vurdert og valgt i denne masteroppgaven. Metodene som er benyttet, og hvordan de er benyttet i masterarbeidet, beskrives.

2.1. METODE I FORSKNING

Med innledningen til dette kapittelet kan vi forstå at metoden er viktig for å skaffe ny kunnskap gjennom forskningen. Forskningsmetodene man velger bør begrunnes ved at man mener de vil gi gode data og vil belyse problemstillingene på en faglig interessant måte (Dalland, 2012). Metodene hjelper oss å samle informasjon om det man ønsker å undersøke. Det er to hovedretninger av metoder: kvantitative og kvalitative metoder.

2.1.1. KVANTITATIVE OG KVALITATIVE METODER

Kvantitativ og kvalitativ forskning fremstår innen samfunnsforskningen som to vesentlige tenkemåter for hvordan man kan skaffe analyserbar informasjon om samfunnet (Kuhn and Hacking, 2012). Dalland (2012) sier de kvantitative metodene har den fordelen at de gir data i målbare enheter. Dette er data man kan bruke i bl.a. statistiske analyser og til å regne ut de parametere man ønsker å se på. Dalland (2012) sier også at de kvalitative metodene, i motsetning til de kvantitative, forsøker å fange opp meninger og opplevelser knyttet til det man undersøker. En kan si at den kvalitative metoden er en induktiv, altså en eksplorerende og empiribasert, metode (Tjora, 2017). Den kvantitative metoden er da en deduktiv, altså en teori- og hypotesedrevet fremgangsmåte.

Samset (2014) sier at man i praktisk informasjonsinnhenting ofte ikke bruker bare én av de to, når det gjelder kvalitative og kvantitative metoder. Man bruker gjerne begge metoder, i ulike former. For å få frem helheten brukes kvalitative metoder, mens man bruker den kvantitative

⁵ SNL (2017). "Metode." <<https://snl.no/metode>>.

⁶ SNL (2017). "Forskning." <<https://snl.no/forskning>>.

informasjonen for å gi beskrivelsen større presisjon. I kvalitative metoder stiller man gjerne andre spørsmål, stiller dem annerledes og innenfor andre rammer enn i kvantitative metoder (Tjora, 2017). Dette kan gi rom for ulik forklaring eller tolkning av samme fenomen, og dermed grunn til å kombinere metodene. Begge metoder er gjenstand for fortolkning og subjektivitet fra forskerens side (Dalland, 2012). Det er først og fremst måten man samler data på som er forskjellig. Med dette kan man forstå at det er viktig å tenke nøye gjennom hvilke spørsmål man stiller og hvordan man stiller dem. Man må være klar over at både spørsmålene som stilles og innsamlet data er gjenstand for fortolkning. Dette gjelder uansett hvilken metode man velger.

2.1.2. METODEVALG

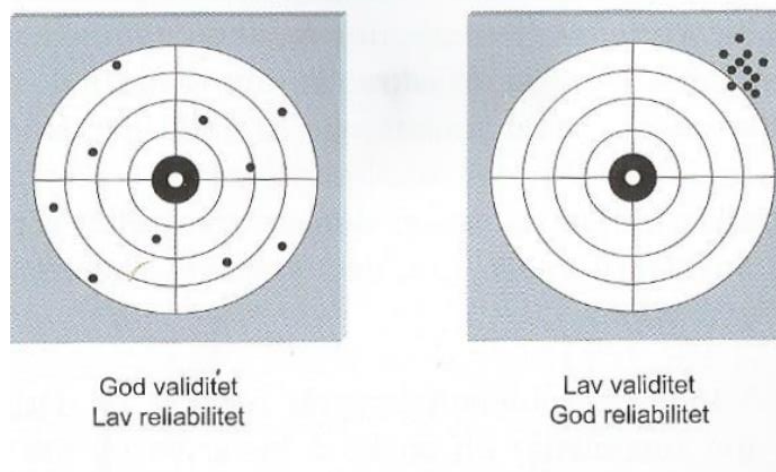
En styrke ved casestudier er at man har mulighet til å bruke flere kilder til datainnhenting (Yin, 1994). Bruken av flere kilder til data gir forskeren mulighet til å se på et bredere spekter av problemstillinger. Den viktigste fordelen ved å bruke flere kilder til datainnhenting er at funnene eller konklusjonen blir mer overbevisende og nøyaktig. Triangulering reflekterer ofte et forsøk på å sikre en dybdeforståelse av fenomenet som studeres (Denzin, 2012). Hovedpoenget med å ha flere datakilder er at funnene skal konvergere, altså gi sammenfallende beviser (Yin, 1994).

I masteroppgaven er det gjennomført en litteraturstudie, 13 fokuserte semi-strukturerte intervjuer, en observasjonsstudie bestående av tre observasjoner og dokumentstudier. Dette gir flere kilder til data, og en mulighet for triangulering av de data som er innsamlet. Litteraturstudiet gir data som er samlet av andre, om temaet som studeres. Dette kalles også for sekundærdata. Intervjuene og observasjonsstudiet gir førstehånds data direkte fra kildene, såkalt primærdata. Dokumentstudiet gir både kvalitativ informasjon om prosjektet og kvantitativ informasjon gjennom kostnadsoversikter o.l. De tre siste representerer datakilder fra casestudiet, mens litteraturstudiet innhenter kunnskap på feltet og gir en teoretisk bakgrunn. Alle fire datakilder er tilpasset problemstillingene slik at disse kan besvares.

Metodevalget i casestudiet er i masteroppgaven hovedsakelig kvalitative metoder. Dette begrunnes med behovet for å se helheten ved problemstillingene og begrensningen av tilgjengelige kvalitative data i casen. De kvantitative dataene supplerer dataene fra de kvalitative metodene og gir funnene større presisjon.

2.1.3. VURDERINGSKRITERIER FOR ANVENDTE METODER

Dalland (2012) stiller to krav til data som samles inn gjennom metodene. For det første må data være relevante for problemstillingen. For litteraturstudiet betyr det at både kildene og de data man henter fra kildene må være relevante. For intervju og observasjon betyr det at man både må identifisere riktige intervjupersoner og riktige settinger å observere i. Samtidig må spørsmålene og fokus i observasjon være med å belyse problemstillingene. Dataene må også være pålitelige. For litteraturstudiet stilles det derfor krav til kvaliteten på studiet data er hentet fra. I intervju ligger mulige feilkilder i hvordan spørsmål er formulert og hvordan informanten oppfatter og forstår spørsmålet. Det er også feilkilder knyttet til hvordan intervjueren oppfatter og tolker svarene som gis. I observasjon kan observatøren lett bli distraheret, og det man forsøker å studere kan gi uklare eller upresise data.



Figur 1: Validitet og reliabilitet- fokus versus presisjon (Samset, 2014)

Påliteligheten (reliabiliteten) bør kunne testes gjennom at andre bruker samme metode og indikator (Samset, 2014). God pålitelighet betyr da at de ideelt sett skal få samme resultat. Figur 1 illustrerer hva man mener med god pålitelighet. Resultatene har god samling og samsvarer. Relevansen (validiteten) er vanskeligere å etterprøve. Vurderingen av relevans er mer en skjønsmessig vurdering hvor man må velge indikatorer i metodene som til sammen gir et godt bilde av problemstillingene. Dette betyr at metodene som velges kan dekke ulike sider ved fenomenet som studeres, men at det som nevnt er konvergens mellom resultatene. Figur 1 illustrerer hva man mener med god relevans. Flere sider ved fenomenet er belyst. Det man gjerne ønsker er noe figuren ikke illustrerer, både god pålitelighet og god relevans.

2.2. LITTERATURSTUDIET

Fremgangsmåten som er brukt i litteraturstudiet baserer seg først og fremst på informasjon om litteratursøk på VIKO's hjemmesider, og litteratursøkerkurs gitt på NTNU. Det første litteratursøkerkurset ble gitt i forbindelse med faget Eksperter i Team 17.januar 2017, av Universitetsbiblioteket ved NTNU. Det andre kurset ble gitt av Jardar Lohne i forbindelse med litteraturredelen i faget, TBA 4128 Prosjektledelse videregående kurs. (Arksey and O'Malley, 2005) har også vært til inspirasjon i arbeidet med å utvikle algoritmen for søkeprosessen. Da spesielt med hensyn på å gå fra bredt søk til fokusert søk, «scoping studies». Disse kildene har samlet bidratt til utformingen av framgangsmåten i litteratursøket.

2.2.1. AVGRENSNINGER

Litteraturstudiet ble først og fremst avgrenset av tiden til rådighet. Som nevnt foregikk litteraturstudiet i faget TBA 4128 Prosjektledelse videregående kurs. Dette kurset gikk parallelt med flere andre fag. Dette i kombinasjon med en egen innlevering av en litteraturredel gav avgrensning av litteratursøket tidsmessig.

For å finne relevant litteratur ble temaet en viktig avgrensning i studiet. Det ble i utgangspunktet lagt opp slik at det skulle sikre mest mulig relevant litteratur for både prosjekt- og masteroppgave. En begrensning som ble oppdaget underveis i litteraturstudiet var nettopp relevant litteratur innenfor temaet. Flere av de mest relevante kildene kom fra Norge eller skandinaviske land. Det ble funnet færre internasjonalt, men det var generelt få i begge kategorier. For å øke tilfanget ble kravene til relevans justert ned noe, slik at tilstøtende tema også ble med i vurderingen.

En annen begrensning er undertegnede tidligere erfaring med litteratursøk. Mangel på erfaring fra strukturerte litteratursøk har nok gitt noen begrensninger spesielt med hensyn på utviklingen av gode søkeord og kombinasjoner av søkeord (søkefraser).

2.2.2. FREMGANGSMÅTE

Fastlegge tema

Den første problemstillingen i masteroppgaven, «*Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plasstøpt betong*», dannet grunnlaget for tematikken i litteratursøket. Og da spesielt med henseende på tidsbruk og kostnadsforskjeller, for å gjøre tema mest mulig relevant for oppgaven. Dette er en klar problemstilling, men samtidig bred nok til å inkludere hele byggeprosessen. Det danner også grunnlag for å finne relevant litteratur og teori til

masteroppgaven. Temaet i litteratursøket ble derfor «*Massivtre og plasstøpt betong- forskjeller og fordeler i prosjektering og produksjon*».

Søkeord

Som en start på litteratursøket ble det gjort generelle, vide søk innenfor tematikken som var fastlagt. Dette ble gjort for å danne et lite bilde av hvilke søkeord som fungerte og ikke fungerte, og samtidig for å gjøre seg mer kjent med søkemotorer. Søkeordene er både et resultat fra egen idemyldring og inspirasjon og input fra VDT, veileder Ola Lædre og medstudent Petter Halseth. Disse ble brukt som utgangspunkt for det strukturerte litteratursøket senere.

Følgende søkeord ble brukt i det innledende søket:

- Massivtre/ Massivträ/ Solid wood/ Krysslaminert tre/ CLT(Cross laminated timber)
- Betong/ Concrete
- Prosjektering/ Engineering/ Design
- Produksjon/ Production
- Comparative study
- Økonomi/ Economy
- Effektivitet
- Brann
- Lyd

Algoritme

Som et bidrag til å systematisere og effektivisere selve litteratursøket har fastleggelse av en algoritme vært viktig. Dette var et av elementene som det ble lagt vekt på bl.a. under litteratursøkerkurset som Jardar Lohne holdt. Men ikke minst har det også vært til hjelp med å strukturere arbeidet med litteratursøkingen som helhet.

Etter råd fra omtalte litteratursøkerkurs ble et kort og hypotetisk abstract skrevet for å ha som utgangspunkt for vurderingen av kildene underveis i søket. Poenget med den var å danne seg et bilde av hvordan man så for seg abstractet i sin egen oppgave når den var ferdigstilt. Det gjør det lettere å vurdere relevansen av kildene man finner underveis. Abstract inneholder målsetningene, metodene som er brukt, resultatene og konklusjonene i oppgaven. Det er spesielt keywords, målsetningene og metodene man bør vurdere kildene mot.

Med dette som bakgrunn ble følgende søkealgoritme utarbeidet:

- Tittelen på artikkelen/arbeidet må være interessant. Hvis den interesserer, gå videre til neste steg.
- Se på Keywords. Stemmer disse til dels overens, gå videre til neste steg.
- Se på Abstract. Stemmer dette til dels overens, gå videre til neste steg.
 - I Abstract er det viktig å se på Formål og Metode
- Se på konklusjon. Er denne relevant eller deler er relevant, gå videre til omfattende gjennomgang av kilde.
 - Se også på referanser. Referansene kan gi en «snowballing»-effekt.

Som et «tilleggsfilter» i søket ble det bestemt at i søk som gav mer enn 100 treff ble bare de 100 første, sortert etter relevans, gått gjennom.

To søkematriser ble laget for å holde styr på all informasjon fra søkene. Den ene inneholdt de ulike søkeordene, kombinasjonene av søkeord, hvor mange søketreff som ble registrert og hvor mange av disse som hadde interessante titler. Den andre matrisen, i vedlegg 1, inneholder den litteraturen som gjennom algoritmen over ble valgt ut til evaluering.

Databaser

I arbeidet med litteratursøket ble fire søkemotorer brukt. Avgrensingen til fire ble gjort med hensyn på oppgavens omfang. En vurdering av de fire søkemotorene under finnes i vedlegg 2:

- ORIA
- Google Scholar
- Scopus
- Web og Science

Andre kilder for litteraturfunn

Etter tips fra medstudent Petter Halseth ble kilde nr.11 i vedlegg 1 funnet under søket «Mass Timber». Dette var et synonym som ikke var med i det opprinnelige søket, men ble gjennomgått etter tipset. Det viste seg at mange av titlene som allerede var funnet gikk igjen, men kilde nr. 11 var ikke funnet før.

Evaluering

Evalueringen av kildene er gjort etter TONE- prinsippet, presentert på VIKO`s nettsider⁷. Søkeprosessen fulgte algoritmen beskrevet over. De kildene med mest relevant innhold for prosjekt- og masteroppgaven ble plukket ut og lastet opp til EndNote, som ble valgt brukt som referansehåndteringsverktøy. Tabell 2 viser en beskrivelse av innholdet i evalueringskriteriene i TONE- prinsippet.

Tabell 2: VIKO`s evalueringskriterier av litteratur, TONE-prinsippet

Evalueringskriterier	Innhold i kriteriene
Troverdighet	Går på hvem forfatteren er, med tanke på utdanning og institusjonstilknytning. Det går også på hvor litteraturen er funnet, om det er i et tidsskrift og om det er fagfellevurdert.
Objektivitet	Dette vurderes ut fra hvordan forfatter har presentert data. Om dette er i samsvar med tidligere forskning, hvordan språket i publikasjonen er og om alle sider rundt problemstillingen er belyst.
Nøyaktighet	Nøyaktighet vurderes ut fra forskningsmetodikken og hvordan denne er forklart, samt om litteraturen er oppdatert og har støtte fra annen litteratur.
Egnethet	Hvor godt litteraturen passer til formålet ved litteratursøket er hovedprinsippet ved egnethet. Da med tanke på hvor relevant data er og om det kan kaste nytt lys på problemstillinga (formålet med oppgaven).

2.2.3. VURDERING AV LITTERATURSTUDIET SOM METODE

Litteraturstudiet som metode representerer i masteroppgaven en kvalitativ studie, hvor sekundærdata evalueres. Litteraturen som velges og evalueres skal kunne bidra til å besvare problemstillingene i masteroppgaven.

Metoden

Søkealgoritmen viste seg å være effektiv i søkearbeidet. Den strukturerte måten å sile ut og velge litteratur til evaluering var godt egnet til systematisk litteratursøk. Søkeprosedyren gav etter hvert mange av de samme treffene for ulike kombinasjoner av søkeord (søkefraser), noe som tyder på at den litteraturen som er funnet er den mest relevante. Det viste seg også at det

⁷ VIKO (2017). "Finne Kilder." <<https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Google+Scholar>>.

var flere ulike synonymer for massivtre som gav ulike resultater under søk, men at utbytting av synonymene i søkefrasene ikke gav flere ulike treff.

Søkealgoritmen, og ikke minst evalueringskriteriene etter TONE- prinsippet, har sørget for at den mest pålitelige og relevante litteraturen er funnet. Det er viktig å påpeke at dette gjelder for de valgte søkefrasene i studiet. Internettet er stort og databasene mange. Sånn sett klarer man nok aldri i en slik begrenset oppgave å sikre at all relevant litteratur blir oppdaget.

Databasene og søkemotorene som ble brukt ble valgt for å sikre relevant og pålitelig litteratur innenfor ingeniørvitenskapen, og bygg og anlegg. Av dette hensynet, og undertegnedes begrensede erfaring med mange databaser, ble noen av de mest kjente anvendt.

Litteraturen

Jevnt over viser det seg at hvem som har skrevet litteraturen gjenspeiler seg i kvaliteten på litteraturen. Master- og spesielt bacheloroppgaver har ofte mangler ved seg knyttet til objektivitet og nøyaktighet. Noen av disse har veldig relevant innhold i forhold til tema, spesielt (Finstad, 2014) og delvis (Vatne and Drevland, 2016). Den mest pålitelige litteraturen er (Smith et al., 2017), (Sardén, 2005) og til dels (Kuzman et al., 2013). Dette er litteratur som både er relevant eller delvis relevant med hensyn til tema i litteratursøket. De gir også en veldig objektiv og troverdig, altså pålitelig, fremstilling av de relevante data.

Mangel på mengde pålitelig og relevant litteratur gjør likevel at totalinntrykket med hensyn til disse reduseres noe i dette studiet. Den internasjonale litteraturen er generelt sett noe mer pålitelig, men har delvis lavere relevans. Motsatt, er den skandinaviske litteraturen noe mer relevant, men har litt lavere pålitelighet.

Gjennom litteraturstudiet er det blitt klart at det finnes en god del litteratur som knytter seg til den tekniske beskrivelsen og egenskapene til bl.a. massivtre. Noe litteratur relaterer seg også til de tekniske forskjellene i bruksfasen. Det finnes også noen veldig få kvalitative undersøkelser som omhandler fordeler og ulemper med massivtre og betong, sammenlignet med hverandre. Det som det imidlertid finnes veldig lite litteratur som omtaler kvantitative undersøkelser som sammenligner de to byggematerialene mot hverandre på bl.a. byggetid og kostnadsforskjeller. Dette viser behovet for å gå dypere enn bare å beskrive fordeler og ulemper gjennom kvalitative undersøkelser. Generelt sett kan det se ut som det finnes lite kunnskap som er delt gjennom publisert litteratur om temaet fra litteratursøket.

2.3. CASESTUDIET

I dette kapittelet gis en beskrivelse av casen, Maskinparken 2 og TRE, på Lilleby, og hvordan studiet av case er utført. Casestudiet besto av intervjuer, observasjoner og dokumentstudier.

2.3.1. BESKRIVELSE AV CASE

Beskrivelsen baserer seg på informasjon fra intervju i casestudiet, samt prosjektbeskrivelsen på internettsiden for Lillebyutbyggingen⁸.



Figur 2: Maskinparken TRE og Maskinparken 2

Prosjektet består av to boligblokker, Maskinparken 2 (MP2) og Maskinparken TRE (MP3) på Lilleby i Trondheim. De to byggene ses hhv. bak til venstre og foran til høyre i figur 2. Maskinparken 2 er ei boligblokk på fem etasjer med 31 leiligheter. Maskinparken TRE er ei boligblokk på åtte etasjer med 47 leiligheter. De har et bruttoareal på hhv. 2374m² og 3790m². MP2 ble bygget med bæresystem i betong og stål, og tradisjonelle pre-aksepterte løsninger som tilfredsstillende teknisk forskrift (TEK17). MP3 ble bygget med bæresystem i massivtre og har passivhusstandard. Casen MP2 og MP3 er ett av flere byggetrinn ved Lillebyutbyggingen i Trondheim. Første delen av byggeprosessen for MP2 og MP3 pågikk samtidig med avslutningen av det forrige gående byggetrinnet, Maskinparken 1. Casen ble derfor også påvirket av forhold i prosjektet Maskinparken 1. Lokasjonen til casen vises i figur 3 på neste side.

⁸ Veidekke (2017). <<http://www.nyelilleby.no/bolig/2016/maskinparken+tre>>.



Figur 3: Lokasjon til casen, Maskinparken 2 og TRE, i Trondheim

Byggherre, Veidekke Eiendom, og totalentreprenør, Veidekke Entreprenør, gikk i felleskap inn for å prøve ut massivtre som bæresystem i et boligprosjekt for privatmarkedet. Dette hadde bl.a. sammenheng med utfordrende grunnforhold på tomta. De var usikre på om dette lot seg gjennomføre på tid og kostnad. Derfor ble et betongbygg designet parallelt. Resultatet ble at planløsning i MP2 og MP3 er stort sett like og har små variasjoner.

MP2 og MP3 ble ansett for å være et felles prosjekt, altså ett byggetrinn, på Lilleby. Det var samme prosjektorganisasjon som styrte design-, prosjektering- og produksjonsprosessene for begge byggene.

Valg av case

Dette var et prosjekt hvor Veidekke Entreprenør Trøndelag ønsket å finne ut hvilke forskjeller det er ved å bygge i massivtre og i betong, og hvilke konsekvenser det har for prosjektøkonomien. Masteroppgaven som ble tilbudt fra Veidekke er knyttet til dette prosjektet, derfor ble MP2 og MP3 valgt som case.

Vurdering av case

Dette er en case som må anses å være relevant for å besvare problemstillingene. Byggene har tilnærmet lik planløsning, de bygges på en felles parkeringskjeller og prosjekteres og innredes av samme prosjekterings- og produksjonsteam. Det gir dermed en unik mulighet til å gå inn og sammenligne de to metodene, kartlegge forskjellene mellom dem, se på hva bakgrunnen til forskjellene er og hvilke konsekvenser de får. Dette prosjektet kan gi pålitelige resultater da

veldig mange av forutsetningene er like. Helt like forutsetninger kan man ikke forvente i noe byggeprosjekt, men i dette prosjektet er mange like, med bakgrunn i det som er nevnt.

Avgrensninger ved case

Masteroppgaven er avgrenset av tid til rådighet og spesielt progresjonen i prosjektet. Våren 2018 starter innredningsarbeidene i prosjektet. Det er derfor en naturlig begrensning ved hvor stor del av hele prosjektet som kan studeres i denne masteroppgaven. En fordel ved å studere et pågående prosjekt var imidlertid muligheten for å fysisk være til stedet på prosjektet, se arbeidet og ha muligheten til å støtte seg på prosjektorganisasjonen på Lilleby.

For å studere problemstillingene dypt og grundig kunne det også vært ønskelig å studere flere ulike prosjekter. Dette er vanskelig siden det er veldig få boligprosjekter i massivtre pr. dags dato. Et omfang som begrenser seg til dette prosjektet er derfor besluttet og vurdert som naturlig basert på tid og omfang.

2.3.2. INTERVJUER

«En av de viktigste kildene til informasjon i case-studier er intervjuet» (Yin, 1994). Det finnes ulike typer av intervjuer. De tre mest brukte i case-studier er dybde-intervjuet, det fokuserte intervjuet og en tredje mer strukturert form for intervju, lignende en survey.

I masteroppgaven er det valgt å benytte fokusert intervju. Dette var intervjuer med sentrale personer i prosjektorganisasjonen på Lilleby og de mest sentrale personene i prosjekteringsgruppen. Intervjuene ble gjennomført i tre runder. De tre rundene ble gjennomført med tre ulike intervjuguider, tilpasset intervjugruppene. De tre intervjuguidene finnes i vedlegg

3. I den første runden ble det til sammen utført fem intervjuer med intervjupersoner fra VDT. Dette var intervju med prosjekteringsleder, prosjektutvikler, prosjekteringsleder, anleggsleder og en intern ressursperson/prosjektutvikler med erfaring fra tidligere massivtre-prosjekt. I den andre runden ble fem representanter fra prosjekteringsgruppen intervjuet. Det var arkitekten, rådgivende ingeniør bygg(RIB), akustiker, brannrådgiver og prosjekterende for elektro. I den tredje runden ble tre representanter fra anleggsledelsen hos VDT intervjuet. Dette var anleggsleder, driftssjef og formann for tømmerfaget. De tre rundene med intervjuer hadde hhv. design- og prosjekteringsprosessen, prosjekteringsprosessen og produksjonsprosessen som hovedfokusområder.

Bakgrunn for metodevalg

Som hovedkilde til data i dette studiet ble det anvendt fokuserte intervjuer. Yin (1994) mener intervjuet er en viktig del av informasjonsinnhenting i case-studier. Tjora (2017) og Yin (1994) sier at det fokuserte intervjuet er en kortere form for dybdeintervju. Dybdeintervjuet egner seg best i tilfeller hvor vi ønsker å studere meninger, holdninger og erfaringer hos intervjupersonen. I det fokuserte intervjuet er temaet som skal diskuteres underveis i intervjuet på forhånd være klart definert. Det fokuserte intervjuet kan sies å være en kort utgave av dybdeintervjuet.

I dette studiet ble det vurdert slik den overveiende delen av temaene som ble planlagt studert krevde mer presis faktabasert informasjonsinnhenting, og ikke dreide seg like mye om intervjupersonenes dype personlige refleksjoner. Dette tatt i betraktning i kombinasjon med at intervjupersonene har travle arbeidsdager var ønsket å redusere beslaget av deres tid. Av hensyn til det ble også intervjuene lagt til deres arbeidssteder. Intervjupersonene var i dette tilfellet klar over tematikken for masteroppgaven, siden undertegnede hadde hatt sommerjobb på det aktuelle prosjektet sommeren 2017 og informert om oppgaven da. Det ble derfor vurdert slik at de ikke trengte en like lang oppvarmingsdel og rammesetting som Tjora (2017) beskriver for dybdeintervjuet. Selve refleksjons- og den fokuserte delen av intervjuene ble lagt til rette mer i tråd med anbefalingene til dybdeintervjuet.

Avgrensing

Av hensyn til tid og omfang ble det til sammen holdt 13 intervjuer i forbindelse med masteroppgaven. Det ble valgt å fokusere intervjuene på personer som var sentrale i designprosjektering og produksjonsprosessene. Det var et ønske om å få gjennomført intervju med et par underentreprenører til, men det lot seg dessverre ikke gjøre innenfor tidsrammen som var tilgjengelig. Intervjuene ble også avgrenset ved å ha fokusområder for de ulike gruppene. Fokusområdene og de tre rundene med intervjuer ble valgt slik at de var relevante for de prosessene som var nylig avsluttet på de tidspunktene. Dette for å få mest mulig ferske erfaringer fra respondentene. Disse avgrensingene har med for- og etterarbeid vært omfangsmessig stort nok. De har bidratt til en god kartlegging av prosessene i prosjektet.

Fremgangsmåte

I forkant av intervjuene ble det sendt forespørsel til de aktuelle intervjupersonene om å stille til intervju. Først ble alle forberedt på forespørsel ved muntlig henvendelse og så formelt via e-post. I den formelle forespørselen ble intervjuguiden vedlagt og personene ble oppfordret til å

selv komme med forslag til tidspunkt for intervjuene. Dette ble gjort for å gi god mulighet for å forberede seg og at tidspunkt skulle passe deres hektiske timeplan best mulig.

Den første intervjuguiden er delt i fire deler. Intervjuguidene finnes i sin helhet i vedlegg 3. Første del er generelle spørsmål om prosjektet og organiseringen av prosjektet. Deretter kommer tre deler: designprosessen, prosjekteringsprosessen og planlagt produksjon. I hver del er spørsmålene relatert til de tre problemstillingene, og har delvis underspørsmål for utdypelse av spørsmålet eller til hjelp for å besvare spørsmålet. Den andre intervjuguiden er delt i tre deler. Første del er spørsmål knyttet til designprosessen, andre del om prosjekteringsprosessen og siste del er generelle spørsmål til intervjugruppen om prosjektering av bygg i CLT og deres erfaringer. Den tredje guiden har én del, produksjonsprosessen. Guiden har til hensikt å finne VDT sine erfaringer fra CLT-montasjen og første del av produksjonsprosessen generelt.

Alle intervjuene av representantene fra VDT ble holdt i lokalene til VDT. Intervjuene av prosjekteringsgruppen ble i runde to holdt på hver enkelt sin arbeidsplass. 12 av 13 intervjuer ble tatt opp i lydopptak og transkribert i etterkant. Varigheten på intervjuene var fra 25min til 1 time. I et intervju var det ønske om å ikke ta lydopptak. Dette ble løst på den måten at vedkommende på forhånd skrev ned notater til spørsmålene i intervjuguiden. Disse ble delt med intervjuer. Intervjuguiden ble gått gjennom på samme måte som for de andre intervjuene, og utdypinger og svar på tilleggsspørsmål ble notert ned av intervjuer. De transkriberte intervjuene ble oversendt til intervjupersonene i sin helhet for å gi mulighet til supplerende kommentarer og godkjenning av materialet.

Tjora (2017) gir et forslag på gjennomføring av dybdeintervjuer. Med bakgrunn i denne ble følgende gjennomføringsplan for de fokuserte intervjuene etablert:

- **Rammesetting**

Kort presentasjon av deltakere, oppgave, problemstillinger og intervjuguide.

- **Fokusering (lydopptaket startes)**

Delene av intervjuguiden gjennomgås og besvares av intervjupersonene. Det er her informasjonen hentes i intervjuet.

- **Oppsummering**

Uklarheter avklares og intervjupersonene får anledning til å legge til informasjon som ikke har kommet frem under intervjuet. **(lydopptaket stoppes)**

Vurdering av det fokuserte intervjuet som metode

Relevansen til data samlet fra intervju henger nøye sammen med i hvor stor grad spørsmålene i intervjuguiden dekker problemstillingene. Intervjuguidene var delt opp slik at med de intervjupersonene som ble valgt ble det vanskelig for dem å besvare alle deler. Det må sies å være naturlig i en slik organisasjon som VDT hvor ulike roller leder ulike prosesser. De vil være i mer eller mindre grad involvert i andre prosesser enn de selv har ansvaret for. Det samme gjelder den andre intervjugruppen med de prosjekterende og rådgivere. Man kunne valgt å lage egne intervjuguider for hver enkelt, men da kunne man potensielt mistet verdifull informasjon om grensesnittene mellom prosessene. Det ble vurdert som bedre at enkelte deler av guiden ikke ble besvart i hvert intervju enn å miste slik verdifull informasjon om grensesnittene.

Spørsmålene i intervjuguiden viste seg å være delvis veldig godt detaljert rundt enkelte deler. Intervjupersonene kom ofte med utdypende svar på spørsmål slik at senere spørsmål helt eller delvis ble besvart. Samtidig følte intervjupersonene at de aller fleste sider ved tematikken ble belyst, og få hadde ting de ønsket å tilføye utover besvarelsen av intervjuguiden. Dette bør bety at relevansen og påliteligheten til spørsmålene i intervjuene er god.

I dette tilfellet ble fokuserte intervjuer benyttet. For intervjuer med representanter fra VDT vurderes det slik at dette ikke påvirker hverken pålitelighet eller relevans for innsamlet data. Grunnen er at selve refleksjonsdelen av intervjuene ble gjennomført i tråd med anbefalinger for dybdeintervjuer. Sammenlignet med dybdeintervjuet gir dataene fra de fokuserte intervjuene i dette tilfellet også en detaljert og helhetlig forståelse av fenomenet.

Representantene fra VDT som ble intervjuet hadde sentrale roller i det aktuelle case. De prosjekterende som ble intervjuet var også de mest sentrale bidragsyterne i prosjekteringsprosessen. De vurderes derfor å være både svært pålitelige og relevante kilder til informasjon. Dette er en vesentlig styrke ved intervjuene i denne masteroppgaven. Det var likevel kun tre som hadde noe erfaring med massivtre som byggemateriale fra før. En må da regne med at det er noe begrenset erfaringsnivå blant intervjupersonene med massivtre generelt, siden MP3 er deres første befatning med dette. Problemstillinger de ennå ikke har opplevd kan derfor gå tapt. Det er nok noe man må akseptere når få eller ingen har erfaringer med nye byggesystem, som massivtre i boligbygging i dette tilfellet. En viktig vurdering i forhold til påliteligheten til intervjupersonene var om de bevisst eller ubevisst satte en av de to byggemetodene i bedre lys enn det andre. Dette kan bl.a. være ut fra personlige overbevisninger om at det ene er bedre enn det andre. Intervjupersonene var klare på at de i byggeprosessen

forsøkte å forholde seg nøytral med hensyn på favorisering av byggemetode. Dette ble gjenspeilet i intervjuene, hvor intervjuer opplevde en balansert innstilling hos intervjupersonene. Intervjupersonene vurderes helhetlig som pålitelige kilder til informasjon for å belyse problemstillingene.

Det ble som nevnt tatt lydopptak i 12 av 13 intervjuer. Lydkvaliteten var veldig god, og det var ingen problemer med å gjengi svarene til tekst. I og med at det er intervjuer som også har analysert materialet i etterkant, reduseres risikoen for feiltolkninger av besvarelser. Dette kan være en faktor som reduserer påliteligheten til intervjuet som det ikke ble tatt opp lydopptak fra. Her kan besvarelsen være noe mer påvirket av intervjupersonen gjennom de skriftlige notatene, og at skriftlig besvarelse i større grad er gjenstand for mistolkninger. For å minske denne feilkilden ble alle spørsmål gått gjennom slik at intervjuer noterte ned hva som var budskapet i hver besvarelse av spørsmål. Utdypende spørsmål ble stilt for å få et helhetlig inntrykk av erfaringene og meningene. I så måte opplevdes data fra dette intervjuet nesten like objektive og pålitelige som de hvor det ble tatt lydopptak.

Når intervjuet transkriberes i sin helhet slik det er gjort her, vil data være veldig detaljerte og utbroderende. Dette kan være en svakhet da intervjuer selv må trekke ut det viktige i analysene i etterkant. En risikerer da at man overser viktig informasjon som kan belyse problemstillingene og at man eventuelt må bruke unødig tid på sortere ut delvis irrelevant informasjon. I det siste tilfellet kan man i verste fall også risikere å sortere ut relevant informasjon.

2.3.3. OBSERVASJON

Case-studier handler om å studere naturlige situasjoner i en gitt case, og dermed skapes muligheten til direkte observasjoner (Yin, 1994). Observasjoner kan gjennomføres på ulike måter. Man har de mest formelle variantene med bl.a. observasjon i møter, klasserom og av gitte aktiviteter. Så har man de mindre formelle som kan være observasjoner gjort samtidig som man f.eks. gjennomfører andre feltbesøk. Hvordan man gjennomfører observasjonene kan også variere. Som observatør kan man på den ene siden være fullstendig deltakende eller på den andre siden være fullstendig observatør (Adler and Adler, 1994), (Gold, 1958), (Tjora, 2017). Dalland (2012) og Tjora (2017) sier også at observasjonene kan være ustrukturerte, åpne og strukturerte eller fokuserte.

I masteroppgaven er det valgt å benytte rollen som deltakende observatør med en passiv rolle i prosjekteringsmøter knyttet til MP2 og MP3. Det vil si at observatør er mest mulig anonym, ikke aktivt deltakende i situasjonen, men er fysisk til stedet og derfor synlig. Det ble totalt

observert i tre prosjekteringsmøter, hvor den første observasjonen var åpen, mens de to andre var fokuserte mot deler av intervjuguiden.

Bakgrunn for metodevalg

Det ble valgt å gjennomføre noen observasjoner i prosjekteringsmøter for å få et dypere innblikk i prosessen enn de data som fremkom kun av intervjuer. Adler and Adler (1994) og Yin (1994) sier begge at observasjonsdata spesielt kan være nyttig når man kombinerer metoden med andre case-studiemetoder. Det ble vurdert slik at observasjoner i prosjekteringsmøter kunne gi god tilleggsinformasjon utover de data intervjuene kunne gi. Data fra observasjonsstudiene kan potensielt også vise andre sider enn det som fremkommer i intervjuene. Spesielt siden de prosjekterende deltar i prosjekteringsmøtene.

Avgrensing

En naturlig avgrensing kom av seg selv med hensyn til observasjoner. Prosjekteringsprosessen var høsten 2017 i slutfasen. Det vil si at det var begrenset med muligheter til å observere i prosjekteringsmøter. Av disse årsakene ble det kun anledning til å utføre tre observasjoner under arbeidet med prosjektoppgaven høsten 2017. Ideelt sett hadde det vært ønskelig med flere, jevnt fordelt utover hele prosjekteringsprosessen. Det var likevel nok til å se noen trender som kan knyttes til intervjuguiden og problemstillingene. Dataene fra observasjonene i prosjektoppgaven ble derfor inkludert som god støtte og bekreftelse av data fra intervju i masteroppgaven.

Fremgangsmåte

På forhånd ble det avtalt med prosjekteringsleder at det var greit med observasjon i prosjekteringsmøtene. Ved første deltakelse ble hensikten med observasjonen og prosjekt- og masteroppgaven presentert for deltakerne i møtet. Dette var for at de skulle være klar over hvorfor en ny person var til stedet. Alle prosjekteringsmøtene ble holdt i lokalene til VDT på Lilleby og varte 3- 3,5timer.

Den første observasjonen ble gjennomført med en åpen tilnærming. Både for å få et overblikk over prosjekteringsmøtet som arena og tema som ble behandlet. Før observasjonen ble et enkelt skjema laget for å notere ned observasjonene relatert til MP2 og MP3. Som et utgangspunkt ble det valgt å basere dette skjema på en kvantitativ observasjon av mengden saker som ble tatt opp og behandlet i møtet, knyttet hhv. til MP2 og MP3. Andre observasjoner og refleksjoner ble også notert. Observatør plasserte seg bak i rommet og utenfor det naturlige synsfeltet til møtedeltakerne, og var som Tjora (2017) beskriver synlig, men passiv observatør.

Med bakgrunn i observasjonene i det første prosjekteringsmøtet ble det i samråd med veileder Ola Lædre bestemt at man i det neste møtet skulle ha to indikatorer man fokuserte ekstra på å observere. Det ble da for det første valgt å ha ekstra fokus rettet mot antall saker relatert til MP2 og MP3, og hva disse gikk ut på. For det andre ble det valgt å ha fokus på hvordan rådgivernes holdninger i disse sakene var. Vedlegg 4 viser noteringsskjema fra observasjon to og tre.

Etter endt observasjon ble notatene sortert og renskrevet/bearbeidet slik at data lettere kunne sammenlignes med de aktuelle delene av intervjuguiden og benyttes i analyse opp mot disse data.

Vurdering av observasjon som metode

Generelt sier Adler and Adler (1994) at det er to hovedutfordringer ved observasjon. Det første knyttes til relevansen eller gyldigheten til observasjonene. Observasjoner baserer seg på observatørens oppfatninger og resultatene kan være veldig utsatt for personens subjektive forståelse. I dette observasjonsstudiet ble det valgt å legge vekt på å studere innholdet i prosjekteringsmøtene i større grad enn kommunikasjon, interaksjon o.l. Dette ble gjort både for å kunne koble resultatene lettere opp mot data fra intervjuene og ikke minst for å øke objektiviteten til observatør. Undertegnede hadde liten eller ingen erfaring med strukturert observasjon fra før. Det ble derfor vurdert som viktig både for relevansen og påliteligheten til data at det var tilrettelagt slik at observatør enklest kunne forholde seg så objektiv som mulig. Viktigste var det for å sikre at data ble relevant og kunne kobles mot intervjuguiden.

Den andre hovedutfordringen som Adler and Adler (1994) nevner er påliteligheten til data fra observasjonsstudier. Dette gjelder særlig når studiet består av observasjon alene. Det oppstår da en svakhet ved påliteligheten fordi man ikke har alternativ data å kryssjekke funn mot. I dette tilfellet er observasjonsstudiet én del av case-studiet, og man har andre data man kan kryssjekke mot. En annen måte å øke påliteligheten fra observasjon kan være å utføre disse over lengre tidsperioder. Man kan også ha et observasjonsteam bestående av flere personer for å minske subjektivitet. Både prosjekt- og masteroppgaven ble utført i dette tilfellet av én person, undertegnede, og det var derfor ikke anledning til stort omfang hverken tidsmessig eller ressursmessig. I så måte kan man isolert sett for dette observasjonsstudiet si at påliteligheten til data kanskje er noe begrenset.

En styrke ved den deltakende, passive, observasjonen er at observatørens påvirkning av den studerte situasjonen minimeres. Spesielt i dette tilfellet hvor observatør ga seg til kjenne for deltakerne ved første møtet og holdt seg utenfor deres naturlige synssfære. Under det første

prosjekteringsmøtet opplevde observatør at enkelte ga et blikk, og således bekreftet tilstedeværelsen. I de to fokuserte observasjonene virket det som alle deltakerne allerede hadde vendt seg til tilstedeværelsen og ikke merket at undertegnede var til stedet. Det ga et godt grunnlag for å observere den naturlige situasjonen.

Intervjuet er en god metode for å få fram hva intervjupersonene sier de gjør og hva som skjer i prosjekteringsarbeidet. Observasjonen i prosjekteringsmøtet viser hva personene gjør og hva som faktisk skjer. Det er i dette tilfellet en veldig relevant og god alternativ kilde, og et godt supplement, til data angående prosjekteringsprosessen.

Som nevnt ble et enkelt skjema laget for å notere observasjonene i. Denne enkle formen for notater representerer nok en svakhet ved observasjonsstudiet, da informasjon kan gå tapt. En mer erfaren observatør ville nok notert på en mer detaljert måte. Siden undertegnede hadde begrenset erfaring med observasjon vurderes likevel denne måten å notere informasjon på som en fordel. Observatør har gjennom denne måten kunnet konsentrere seg om å følge med i møtene. Fokusområdene som er beskrevet har sørget for at de data som er samlet inn har god relevans mot deler av den 1. og 2. intervjuguiden i vedlegg 3 og dermed også noen av problemstillingene.

2.3.4. DOKUMENTSTUDIER

Informasjon funnet gjennom studier av dokumenter fra en case kan gi verdifull innsikt i prosjektet og kan bekrefte de data som er innhentet gjennom andre metoder, som intervju og observasjon (Yin, 1994). Det kan være lettere å forstå data fra intervjuer når man skaffer seg bedre kunnskap om grunnlaget intervjupersonene har for sine besvarelser. Dokumentstudier kan også gi verdifull supplerende data til case-studiet.

Studiet av dokumenter ble gjort av prosjektdokumenter tilhørende casen MP2 og MP3. Undertegnede hadde fra sommeren 2017 full tilgang til Veidekkes prosjekt-hotell på nett. Det gav dermed en unik mulighet til å studere utviklingen av produksjonsplaner, kontrakter, og etter hvert oppfølging av produksjon, mengder, HMS-avvik, kvalitetsavvik o.l.

Bakgrunn for metodevalg

En studie av dokumenter ble vurdert som en verdifull kilde til data. Spesielt som kilde til kvantitative data som mengder, kostnader og tidsplaner. Dette er data som har gitt utfyllende sekundær-informasjon til de primære data, samlet inn gjennom intervju. Dokumentstudier ble også vurdert som en veldig god måte å tilegne seg kunnskap om prosjektet på en objektiv måte.

Det gav også en mulighet til å følge utviklingen til spesielt produksjonsplanleggingen underveis i prosjektet.

Avgrensning

Dokumentstudiet ble først og fremst avgrenset av progresjonen til prosjektet, og følgelig omfanget av denne masterrapporten. Progresjonen til prosjektet har begrenset tiden og muligheten til dype studier av ferdige dokumenter angående produksjonen. Studiet har fokusert på dokumenter som har kunnet gi data relevant for oppgaven. Det vil si dokumenter som har gitt informasjon om design-, prosjekterings- og produksjonsprosessen frem til ferdigstilt bæresystem. I tillegg til dokumenter fra prosjekt-hotellet, har dokumenter og data tilsendt fra noen prosjekterende og byggherren blitt studert. Dette har vært begrenset av tilgjengelighet og av hvor mye de ulike aktørene har delt av detaljert informasjon. Det er hovedtrekkene som kommer frem fra den delen av dokumentstudiet. Ferdiggraden på planer, økonomiske oversikter o.l. er nok den største begrensende faktoren i dokumentstudiet.

Fremgangsmåte

Dokumentstudiet ble innledet gjennom generelle studier av ulike dokumenter i prosjekt-hotellet, for å få bedre kjennskap til prosjektet. Deretter ble byggherre, relevante underentreprenører og CLT-leverandør kontaktet. De ble kontaktet for å få innblikk i prosjektet fra andre sider enn bare VDT sin side, og for å undersøke mulighetene for å få tilgang til supplerende data. Fremdriftsplanene til produksjonsprosessen ble gått gjennom flere ganger etter hvert som prosjektet utviklet seg. I tillegg ble kalkulert og utført kostnad og tidsbruk for MP2 sammenlignet med data gitt av CLT-leverandør for montasjen av MP3. VDT sin økonomioppfølging i prosjektet ble brukt til å sammenligne kostnader for de to byggene, og for å underbygge informasjonene fra intervjuene. Deler av dokumentstudiene ble gjennomført sammen med medstudent Petter Halseth for å legge til rette for videre arbeid i påfølgende masteroppgave (se kapittel, Videre Arbeid).

Vurdering av dokumentstudiet som metode

Samlet sett gav dokumentstudiet god og relevant data for å besvare oppgaveteksten til VDT. Påliteligheten til data er relativt god når det gjelder den informasjon som ble innhentet fra prosjekthotellet. Denne informasjonen var informasjon VDT selv brukte i den daglige driften og oversikten av prosjektet. Dette var data som registrert timeforbruk, kalkulerte og produserte mengder. Nøyaktigheten til de data er derfor god. Tilsendt informasjon fra andre er det knyttet mer usikkerhet til påliteligheten og nøyaktigheten til. Det var ikke mulighet for å kvalitetssjekke

denne informasjonen. Dette er derfor en svakhet ved dokumentstudiene. En annen svakhet er at det var usikkerhet knyttet til ferdiggraden av de ulike dokumentene siden prosjektet var pågående under studieperioden.

2.4. FORDELING AV ARBEID

Masteroppgaven består av to hoveddeler. Et paper for den internasjonale Lean-konferansen 2018 og en tradisjonell masterrapport. Underveis i arbeidet har det vært nødvendig å prioritere tidsbruken mellom de to delene, og spesielt for å rekke innleveringsfrister for paperet. Arbeidet har derfor periodevis vekslet mellom å ha fokus på produksjon av IGLC-paperet og masterrapporten, parallelt med datainnsamling.

2.4.1. IGLC-PAPER

Det ble tidlig i arbeidet med masteroppgaven bestemt i samråd med hovedveileder, Ola Lædre, å forsøke å få publisert et paper ved den årlige Lean-konferansen, arrangert av International Group for Lean Construction (IGLC). Paperet med tittelen «*Laminated Timber Versus On-site Cast Concrete: A Case Study*» ble våren 2018 tatt inn som bidrag til konferansen sommeren 2018. Paperet er del 2 av denne masteroppgave-besvarelsen.

Til paperet har tre forfattere bidratt:

1. Torstein Østnor, mastergradsstudent, NTNU, Trondheim, Norge
2. Sigbjørn Faanes, Veidekke Entreprenør, Trondheim, Norge
3. Ola Lædre, førsteamanuensis, NTNU, Trondheim, Norge

På grunn av progresjonen i prosjektet og innleveringsfristen til konferansen, som var 15.mars, ble det i samråd med veileder Lædre besluttet å begrense omfanget av paperet. Det omhandler derfor design- og prosjekteringsprosessen, som er et noe mindre omfang enn selve masterrapporten.

Arbeidet med paperet pågikk parallelt med masterrapporten. Det er gjennom arbeidet med paperet, at grunnlaget for strukturen og oppbygningen av den tradisjonelle masterrapporten ble lagt. Det var gjennom samme metodikk og gjennom deler av det samme datagrunnlaget som for masterrapporten at paperet ble utformet. Studenten er 1. forfatter og har utformet paperet. 2. forfatter har bidratt gjennom diskusjoner om innholdet av paperet og til utvelgelsen av relevante intervjupersoner. 3. forfatter har bidratt til utforming av problemstillinger, struktur og disposisjon av paperet. Hovedstrukturen i paperet følger for øvrig malen og retningslinjene gitt

av IGLC. Paperet er på engelsk. For å få høy språklig standard på bidraget ble korrektur av paperet gjort av profesjonell korrekturleser, Carrie Gilder.

2.4.2. MASTERRAPPORT

Innhold i rapporten og utformingen av den er et resultat av et selvstendig arbeid fra studenten. Innholdet er drøftet med ekstern veileder Sigbjørn Faanes og med medstudent Petter Halseth. Disposisjonen er utformet av undertegnede, med innspill fra hovedveileder Ola Lædre. Datainnsamling gjennom intervju og observasjon er gjort selvstendig med nyttige tips fra hovedveileder. Dokumentstudiet er utført selvstendig av studenten. Grensesnittet mot påfølgende masteroppgave, videre arbeid fra denne rapporten, er diskutert og kommet frem til gjennom samarbeid med medstudent Petter Halseth. Tre intervjuer med personer fra VDT ble også gjennomført sammen med Halseth. Dette var i avslutningen av datainnsamlingen for denne oppgaven og i oppstarten av hans, påfølgende, masteroppgave.

3. TEORETISK GRUNNLAG

I dette kapittelet presenteres teori fra litteraturstudiet som gir relevant bakgrunnskunnskap for å belyse og forstå resultatene fra denne studien. I tabell 3 forklares først noen relevante begreper som benyttes i teori og resultatdelen av oppgaven.

Tabell 3: Faglige begreper

Begrep	Forklaring
Totalentreprenør	Byggherren overfører ansvar for usikkerhet knyttet til tid, kostnad, kvalitet og omfang til entreprenøren. Entreprenøren overtar ansvaret for både prosjektering og bygging, og kalles en totalentreprenør. Totalentreprenøren har også ansvaret for alle underentreprenører og leverandører (Lædre, 2014).
Underentreprenør	Entreprenører og leverandører som engasjeres i prosjektet av totalentreprenøren, blir underentreprenører. Underentreprenørene har forpliktelser til totalentreprenøren, men totalentreprenøren er ansvarlig ovenfor byggherre for det arbeidet underentreprenørene gjør.
Bærekonstruksjon	Bæresystemet i en bygning består av bærende horisontale deler som tak, etasjeskillere og gulv/kjellergulv. Det består også av bærende vertikale deler som søyler, sjakter og bærevegger som fører krefter fra horisontale deler ned til grunnen. Bærevegger er eksempler på avstivende konstruksjonsdeler som i tillegg til lastbæring gir bygningen stivhet. ⁹
Passivhus	I passivhus tar man i bruk passive tiltak for å redusere bygningens energibehov. Dette kan f.eks. være ekstra isolasjon og vindtetting, høyisolerende vinduer, varmegjenvinning av ventilasjonsluft og utnyttelse av fornybare energikilder. Årlig energibehov til romoppvarming må ikke overstige 15kWh/m ² år for passivhus, mot 30kWh/m ² år for TEK17-hus, lavenergibygning. ¹⁰
Pre-aksepterte løsninger	Byggtekniske løsninger som anbefales brukt av Sintef Byggforsk og som er i samsvar med veiledning til Teknisk Forskrift (VTEK) og ulike Norske Standarder. Løsninger man ofte er kjent med og som er anerkjent i byggebransjen.
Teknisk Forskrift (TEK17)	En forskrift som «trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge». ¹¹ Forskriften gir funksjonskrav og ytelseskrav til bygget.
Akkordlønn	Ved akkordlønn avtales en bestemt sum for utførelsen av en arbeidsoppgave. Arbeiderne får utbetalt summen uavhengig av hvor lang tid som er brukt. Raskere gjennomføring gir høyere timelønn. Arbeiderne er oftest også sikret en minstelønn hvis arbeidet tar lenger tid enn planlagt. ¹²

⁹ SNL. 2017b. Hus: <https://snl.no/hus>

¹⁰ Norsk Standard, NS3700. Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Boligbygninger. Standard Norge

¹¹ Byggteknisk forskrift (TEK17). <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>

¹² SNL. 2018. Akkord. https://snl.no/akkord_-_arbeidsliv

3.1. BÆRESYSTEMER

I casen MP2 og MP3 prosjekteres og bygges ett bygg med bæresystem i plastøpt betong og stålsøyler og ett med bæresystem i CLT og limtre. I dette kapittelet presenteres disse bæresystemene og noen av deres sentrale karakteristikk.

3.1.1. PLASSTØPT BETONG OG STÅLSØYLER

Plastøpt betong er den tradisjonelle metoden for å bygge boligblokker i Norge¹³. Fersk betong er hovedsakelig en blanding av sement, grovt og fint tilslag av stein og grus, og vann. Blandingen er i fersk fase flytende med en viss viskositet (Jacobsen et al., 2016). Plastøpt betong støpes i formverk (forskaling) hvor det ferdige produktet skal stå på byggeplassen. Produksjon av plastøpte konstruksjoner krever mye arbeid og kvalitetssikring for å gi en konstruksjon med ønsket form og egenskaper. Konstruksjonsdelen må forskales på en forsvarlig måte. Det må armeres med stål, støpes og forskaling må fjernes før man har en ferdig konstruksjonsdel. I tillegg må betongen herde og få en hvis styrke før den kan belastes av laster. I figur 4 ser vi armering og forskaling av en typisk vegg i betong.



Figur 4: Forskaling for plastøpt betong (Jacobsen, 2014)

Stålsøyler benyttes som ekstra bærende elementer for å redusere dekkespenn og antall bærende betongvegger. Søylene sveises eller boltes fast til forankringsplater i over- og underliggende etasjeskiller og gir ekstra bæring av overliggende etasjeskiller. Stålsøylene skjules som regel i plassbygde yttervegger og ikke-bærende innervegger.

Armert betong har stor trykkfasthet og bærer godt både i og ut av planet, til f.eks. en vegg (Jacobsen, 2014). Strekkfastheten beregner man ofte til omtrent 1/10 av trykkfastheten

¹³ Nærings-og-fiskeridepartementet (2005). "Faktahefte om norsk næringsliv." <https://www.regjeringen.no/no/dokument/dep/nfd/veiledninger_brosjyrer/2005/Faktahefte-om-norsk-naringsliv/12/id275584/>.

(Jacobsen et al., 2016). Armeringen av betongen med stål avgjør i stor grad egenskapene til den ferdige betongproduksjonen. Produksjon av stål er en kraftkrevende prosess, og som også i likhet med produksjon av sement og annen kraftkrevende industri assosieres med betydelige klimagassutslipp.

Siden fersk betong er flytende gir det formfleksibilitet med hensyn til hvordan man bygger forskalingen. Betongen består av store deler tilslag av steinmaterialer, er dermed ubrennbar og har stor masse som gir god lydisolasjon. Betongkonstruksjoner generelt, og spesielt innendørs konstruksjoner, har også god bestandighet og lang levetid.

3.1.2. MASSIVTRE - CLT

I Norge har man populært kalt massive tre-elementer til bruk i bygninger for massivtre (Valmot, 2018). Massivtre brukes gjerne som en samlebetegnelse på bl.a. prefabrikkerte panelsystemer med flere lag og andre konstruksjonselementer i tre (Buck et al., 2015). Ulike teknikker benyttes i industriell produksjon av massive tre-elementer. Trematerialene kan festes sammen på ulike måter ved hjelp av f.eks. bolter, skruer, tre-nagler og lim (Aarstad et al., 2008), (Buck et al., 2015). Av disse teknikkene er krysslaminert tømmer (CLT) den mest kostnadseffektive metoden (Buck et al., 2015). CLT er et fler-lags tømmerelement som limes sammen under trykk. Hvert tømmerlag legges slik at det ligger med fiberretning vinkelrett på nabolagene. Vanligvis benyttes et odde antall tømmerlag for å gi god dimensjonsstabilitet, da ytterlagene vil ha samme fiberretning. Tømmerlagene består av vanlig konstruksjonsplank i ulike dimensjoner. I CLT-elementer kan sorteringsklasser lavere enn C24 (vanlig sorteringsklasse for konstruksjonsvirke) blandes inn i de innerste lagene av CLT-elementene.

Produktidéen til CLT ble utviklet på 1970 og 1980- tallet, men det var ikke før etter 1998 man fikk tekniske godkjenninger av produktet (Brandner et al., 2016). Siden har det vært mye forskning og utvikling av CLT, og det er ikke før i de senere årene at produktet har vært godt tilgjengelig i markedet.

CLT brukes hovedsakelig som vegg-, etasjeskiller- og takplater¹⁴. CLT-elementene kan typisk bestå av tre sjikt/lag av trematerialer og oppover til ønsket tykkelse, ha platebredder på 3 meter og lengder på over 15 meter. CLT har gode lastbærende egenskaper da den bærer godt både i og ut av planet til elementet. Elementene er som nevnt også veldig dimensjonsstabile, særlig under stabile fuktforhold (Brandner et al., 2016), (Aarstad et al., 2008).

¹⁴ Woodcon (2017). "Stora Enso CLT- Teknisk brosjyre." <<http://woodcon.no/download/TechnischeNO.pdf>>.



Figur 5: Montasje av veggelement i CLT¹⁵



Figur 6: Montasje av CLT på byggeplassen på Lilleby

CLT-elementene ankommer byggeplassen som et ferdig byggesett hvor delene kun heises på plass og monteres sammen (Aarstad et al., 2008). Figur 5 viser et typisk veggelement i CLT som heises på plass. Figur 6 viser monteringen av CLT-elementene i MP3 til venstre, Maskinparken 1 i midten og MP2 til høyre. Elementene er lette og raske å montere på byggeplass ved hjelp kran og med enkle festemidler som skruer og midlertidige støtter. CLT-elementene prefabrikeres under tørre og lett kontrollerbare innendørs omgivelser. Prefabrikasjonen av CLT gir høy grad av nøyaktighet på elementene så lenge de er produsert etter en korrekt modell.

¹⁵ Fylkesmannen (2017). *Massivtre vinner terreng*. <https://www.fylkesmannen.no/Ostfold/Landbruk-og-mat/Skogbruk/Massivtre-vinner-terreng/>

LCA-analyser av bæresystemet, inkludert fundamentering, for massive trekonstruksjoner og betongkonstruksjoner viser at man ved å bruke tre kan redusere CO₂-utslippene med 34-84% (Skullestad et al., 2016). Analysen er gjort fra «vugge til port», altså fra uttak av tømmer i skogen til bygget er produsert. Skullestad (2016) sier også at hvis man tar med hele livsløpet kan netto CO₂-besparelse bli nærmere 100% når tre sammenlignes med betong og stål. Det forutsetter at trevirket blir resirkulert og brukt som biobrensel. Grunnen til at man kan få en så stor besparelse er at trevirke er fornybart materiale som kun tas ut fra kretsløpet og tilbakeføres ved resirkulering. Betong derimot frigir utslipp som ellers ikke ville blitt tilført kretsløpet i atmosfæren, og som bruker veldig lang tid eller aldri vil tas ut av kretsløpet igjen.

Analysen er gjort for bæresystemet isolert sett og tar ikke med materialbruk fra innredning, tekniske installasjoner o.l. Resultatene viser også at man kan få størst CO₂-besparelse pr. m² for bygg over 13etasjer. Dette kommer av at høye bygg, også betongkonstruksjoner, krever større materialmengder pr. m² enn lavere bygg. LCA-analysene til Skullestad (2016) ble gjort for bygg mellom 3 til 21 etasjer.

3.2. BRANN, AKUSTIKK OG BYGNINGSFYSIKK VED BRUK AV CLT

Teknisk forskrift (TEK) og Veiledning til teknisk forskrift (VTEK) angir hvilke krav som stilles til bl.a. brann- og akustikk-ytelser ved et bygg.

3.2.1. BRANN

Ulike byggverk deles inn i ulike risikoklasser etter hvor stor alvorlighetsgrad en evt. brann kan få¹⁶. Boliger plasseres i risikoklasse 4. Ut fra konsekvensen av en brann klassifiseres bygget i brannklasser. Boligbygg på fem etasjer eller mer er i brannklasse 3, dvs. konsekvensen av brann er stor.

CLT-elementene brukt i case er klassifisert som D-s2, d0¹⁷. D-produkter har en minste tid til overtenning på 10min¹⁶. S2 gir middels røykproduksjon og d0 viser til ingen flammende dråper fra produktet ved brann.

Brannteknisk prosjektering kan utføres gjennom forenklet- eller analytisk prosjektering¹⁵. Forenklet prosjektering vil si at byggets ytelser er i samsvar med pre-aksepterte ytelser. Analytisk prosjektering vil si at en ved analyse må vise at bygget tilfredsstiller brannforskriftens krav. For betong/stål, som er ubrennbare materialer, kan man bruke de pre-aksepterte ytelsene

¹⁶ TEK17 (2017). "Byggteknisk forskrift." <<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>>.

¹⁷ Woodcon (2017). "Stora Enso CLT- Teknisk brosjyre." <<http://woodcon.no/download/TechnischeNO.pdf>>.

etter veiledning til teknisk forskrift (VTEK). Trematerialer, altså brennbare materialer, krever analytisk prosjektering etter teknisk forskrift (TEK). Analysene må vise at ytelsene til konstruksjonen tilfredsstillende kravene bl.a. til bæreevne og stabilitet etter risikoklassen og brannklassen. Dette utgjør en forskjell ved den branntekniske prosjekteringen når man bygger med bærekonstruksjon i massivtre i stedet for i betong og stål.

I en litteraturstudie av «*Brannsikkerhet i bygg med massivtre*» ble det funnet at kunnskapen om brannsikkerhet ved bruk av massivtre i bygninger i dag er mangelfull (Daaland et al., 2017). Det er spesielt spørsmål knyttet til forkullingshastigheter, delaminering og selvslukking av trematerialet man mangler kunnskap om. Delaminering vil si at tømmerlag løsner fra CLT-elementene ved at limet, som gir samvirke mellom lagene, slipper taket. Hvordan ubeskyttede massivtre-flater spiller inn for de nevnte spørsmålene under et brannforløp er også et spørsmål det i studien ble funnet lite kunnskap om. Litteraturstudien avdekket at eksponert massivtre kan medføre at en brann sprer seg raskere, blir mer intens og får lengre varighet enn en brann hvor kun inventaret i rommet er brennbar. Blant forbedringstiltakene som nevnes er at man i fremtiden også tar inn en sannsynlighetsvurdering i risikoanalysene ved branntekniske prosjektering. Dette tiltaket påpekes av Daaland et. al. (2017) som et viktig steg mot eventuelle regelverksendringer når det gjelder branntekniske prosjektering av massive trekonstruksjoner. I tillegg anbefales det å utvikle en håndbok som kan gi preskriptiv veiledning i prosjekteringen, og beskrive hvordan ytelsene til massivtreet kan dokumenteres. Dette for å unngå den subjektive vurderingen man har ved at hver enkelt brannrådgiver i dag tolker og vurderer TEK-teksten forskjellig.

3.2.2. AKUSTIKK

Lydforholdene i byggverk skal være tilfredsstillende¹⁵. For at dette skal være tilfredsstillende kan man oppfylle kravene til lydreduksjon mellom boenheter i boliger gitt av NS8175:2012 Lydforhold i bygninger.

Konstruksjoner med stor masse, f.eks. betong, reduserer lyden vesentlig mer enn lette konstruksjoner (SINTEF-Byggforsk, 2014). En normal betongvegg er tilstrekkelig for å gi tilfredsstillende lydreduksjon. For lette konstruksjoner må man iverksette tiltak, som for eksempel ekstra isolering og tilføring av masse. En etasjeskiller i eksponert massivtre vil kunne oppnå lydreduksjonstall på 37-43dB for luftlyd, avhengig av tykkelse og type element (Aarstad

et al., 2008). Kravet mellom boenheter er på 55dB¹⁸. Tiltak må da gjøres for å øke tyngden til konstruksjonen, slik at lydreduksjonstallet øker.

Akustisk prosjektering følger også samme prosedyre som brannteknisk prosjektering. Enten kan man prosjektere ved å følge pre-aksepterte løsninger som gir tilfredsstillende lydreduksjon med hensyn på minstekravene i NS8175, eller så kan man bruke analytisk prosjektering til å dokumentere konstruksjonens ytelser.

3.2.3. BYGNINGSFYSIKK

Tre er et hygroskopisk materiale som lett absorberer fuktighet (Gustafsson, 1998). En massivtre-konstruksjon bør gis anledning til å tørke ut. Man bør derfor ikke bruke fuktsperre i konstruksjoner med massivtre, slik man gjør i tradisjonelle konstruksjoner. CLT-elementene i seg selv er gjennom undersøkelser funnet å ha samme egenskaper som en tradisjonell dampbrems¹⁴. Bakgrunnen for å benytte fuktsperre i tradisjonelle konstruksjoner er at fuktighet ikke skal gis anledning til å nå inn i konstruksjonen og kondensere (SINTEF-Byggforsk, 2014). En av fordelene med CLT er at det tørker raskt, som gir rask uttørking av bygget, sammenlignet med relativt fersk betong (Finstad, 2014).

CLT-elementene benyttet i case er testet etter standarden EN 12114:2000 og funnet å være lufttett f.o.m. tre sjikt med tremateriale¹⁷. CLT tilfredsstiller selv de krav som stilles til de bygningsfysiske egenskapene lufttetthet og fuktighet. I tradisjonelle konstruksjoner må disse egenskapene tilfredsstilles ved bruk av dampspærre og luftspærre (SINTEF-Byggforsk, 2014). Skjøter mellom CLT-elementene tapes med byggtape for å sikre lufttettheten. Trevirke isolerer også bedre mot kalde soner som gangarealer og utendørs, enn betong. Man trenger dessuten mindre isolasjon på en yttervegg med CLT enn i vanlig bindingsverk for å oppnå samme U-verdi, siden treet også isolerer (Aarstad et al., 2008).

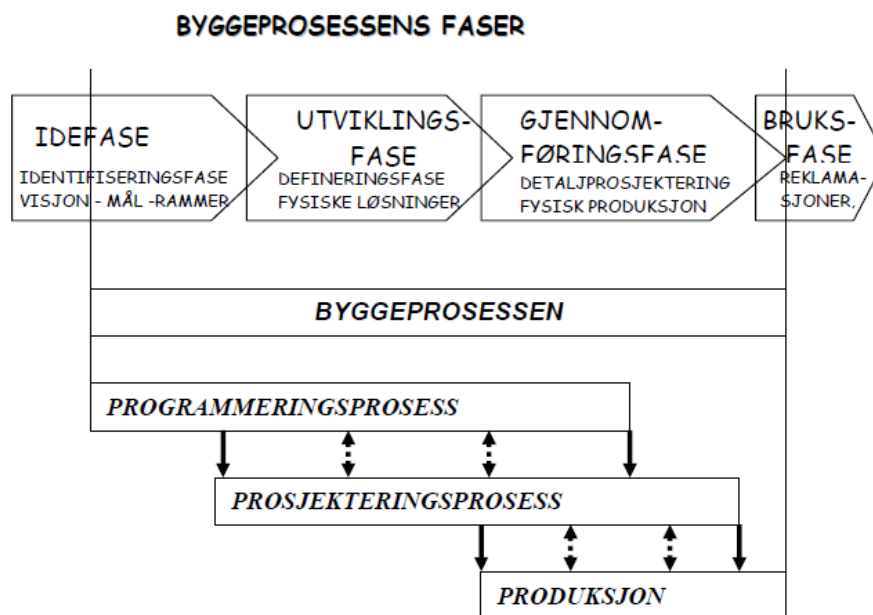
En sammenligning av passivhus bygget i forskjellige materialer, ved bruk av en analytisk hierarkisk prosess, viser at bruk av massivtre scorer best (Kuzman et al., 2013). Da var mange ulike parameter tatt med i betraktning. Basert på respondenter ble de gitt ulik vektning etter hva som opplevdes som viktigst. Vektingen av bygge-tid og -kostnad ble vektet lavt på totalresultatet, mens helse, miljø og funksjonalitet ble vektet høyt. Dvs. at i denne sammenligningen er det byggets egenskaper under bruk som i størst grad bidro til at massivtre scoret best.

¹⁸ Norsk Standard, NS8175:2012. Lydforhold i bygninger-Lydklasser for ulike bygningstyper. Standard Norge

3.3. BYGGEPROSESSEN

«Byggeprosessens delaktiviteter har som mål å utvikle et nytt eller et modifisert byggverk tilpasset en tiltenkt brukerorganisasjon eller en mer generell bruksfunksjon» (Meland, 2008). Byggverkene reises oftest i ett eller få eksemplarer. Det er derfor en utviklings- og prosjekteringskostnad knyttet spesielt til hvert bygg. Disse kostnadene må i engangsprosjekter dekkes av dette ene bygget. For en type bygg som bygges flere ganger vil man ved det første bygget oppleve en førstegangskostnad til prosjektering. Denne kostnaden vil avta for neste prosjekt ved at man kan gjenbruke prosjektert materiale fra første prosjekt.

Det er mange ulike modeller for å beskrive karakteristiske trekk ved byggeprosessen, men mange av disse ligner i stor grad på hverandre. Eikeland (1998) deler prosessen inn i fire generiske delfaser som er fellestrekk i alle byggeprosesser. Dette er Idefasen, Utviklingsfasen, gjennomføringsfasen og bruksfasen. Disse generiske fasene presenteres i figur 7.



Figur 7: Byggeprosessens faser (Eikeland, 1998)

Idefasen er en kreativ prosess hvor man klarlegger prosjektets formål, forutsetninger og rammebetingelser (Eikeland, 1998). Det er her man legger premisene for utviklingen av prosjektet. I utviklingsfasen «utvikles de fysiske løsninger som skal realiseres» (Eikeland, 1998). Resultatet av denne fasen er at fysiske løsninger er definert. Løsningene utvikles og man beslutter valg av egnede løsninger. En kan si at man har en designprosess og at prosjekteringsprosessen starter i denne fasen. Gjennomføringsfasen består gjerne av detaljprosjektering og selve utførelsen, dvs. produksjonen av bygget. Bruksfasen starter gjerne med prøvedrift, reklamasjoner o.l. og går over i ordinært bruk av bygget.

I størrelsesorden er ofte kun 5-15% av byggets totalinvestering, fram til bygget tas i bruk, knyttet til prosessene til og med detaljprosjektering (Meland, 2008), (Eikeland, 1998).

I disse fasene er det noen kjerneprosesser som bidrar til utviklingen av de fysiske løsningene og produksjonen av disse løsningene. I det følgende presenteres de kjerneprosessene hvor totalentreprenør VDT er involvert i forbindelse med case MP2 og MP3.

Designprosessen

En vesentlig del av utviklingsfasen består av en designprosess. Disse uttrykkene brukes i bransjen ofte om hverandre. Det er i designprosessen formålet, forutsetningene, rammebetingelsene og kravene som stilles til bygget blir til fysiske konseptløsninger. Man kan si at bygget som skal bygges defineres (Eikeland, 1998). Man sitter gjerne igjen med en prosjektskisse og beskrivelse som man i prosjekteringsprosessen bygger videre på.

Prosjekteringsprosessen

I prosjekteringsprosessen sier man gjerne at man detaljprosjekterer bygget (Eikeland, 1998). De skisser og beskrivelser man overtar fra designprosessen konkretiseres og utvikles (prosjekteres) til modeller og arbeidstegninger som skal anvendes i produksjon. Resultatet fra prosjekteringsprosessen er gjerne presentert gjennom digitale 3D-modeller, tegninger, tekniske beskrivelser, bilder og fysiske modeller (Meland, 2008). Disse utgjør et immaterielt produkt som danner grunnlaget for produksjonen av bygget. Dette produktet består av helhetlige og samordnede løsninger, som er utviklet av en flerfaglig arkitekt- og ingeniørgruppe.

Produksjonsprosessen

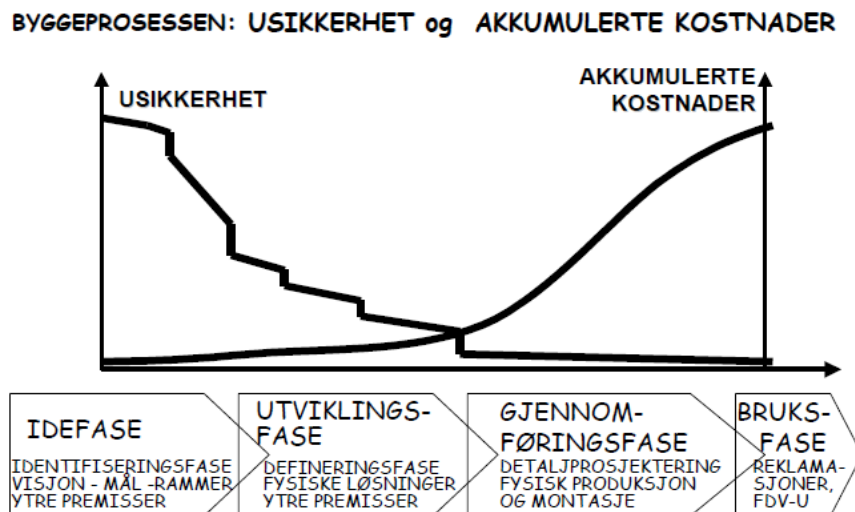
Det er i produksjonsprosessen man gjennomfører planene og valgene som er tatt i design- og prosjekteringsprosessene (Eikeland, 1998). Det vil si å bygge etter de tegninger og beskrivelser som foreligger fra prosjektering. Byggearbeidet består av materialhåndtering, transport til byggeplass og logistikk på byggeplass og sammenføyninger av ulike komponenter (Meland, 2008). Dette resulterer i det ferdige bygget. Produksjonsprosessen består også av forberedelsene og planleggingen av innkjøp, installasjon og bygging.

3.4. USIKKERHETEN I BYGGEPROSESSEN

I et normalt forløp av en byggeprosess vil graden av usikkerhet falle kontinuerlig, og mest i tidlige faser av byggeprosessen (Eikeland, 1998). Usikkerheten synker bl.a. i takt med beslutninger som tas, graden av utført prosjektering og av kontrakter og avtaler som inngås.

Usikkerhetsnivået karakteriseres gjerne gjennom i hvilken grad prosjektet som et fysisk objekt er definert.

Samtidig har påløpte kostnader et omvendt forløp, hvor akkumulerte kostnader stiger minst i tidlige faser (Eikeland, 1998). Gjennom prosjektets faser kan usikkerhet og akkumulerte prosjektkostnader illustreres som i figur 8. Stor usikkerhet til prosjektets sluttegenskaper vil også gi en stor grad av usikkerhet knyttet til beregningene av hva prosjektet vil koste.



Figur 8: Usikkerhet og akkumulerte kostnader (Eikeland, 1998)

«I prosjekter som kjennetegnes av stor kompleksitet, bør kontraktstrategien, utover ansvar for grensesnittproblematikk, inkludere en særlig gjennomtenkt holdning til risiko» (Lædre, 2014). Totalentreprisen er den entreprisformen som i størst grad overfører risiko fra byggherre til entreprenøren. Totalentreprenøren overtar da ansvaret for hele eller deler av den totale usikkerheten i prosjektet. Dette ansvaret knytter seg både til prosjektering og utførelse. Fordelen med en slik entreprise er at grensesnittproblematikk blir redusert da én entreprenør er ansvarlig for alt, og man kan lette koordineringen mellom ulike parter. Det samme gjelder for så vidt også når underentreprenøren har total underentreprise og leverer til totalentreprenøren.

Når nye hovedmaterialer, som CLT, introduseres til bærekonstruksjonen øker usikkerheten i prosjektet (Sardén, 2005). Håndtering av den risiko som usikkerheten representerer løses tradisjonelt gjennom regulering i kontraktsforhold. Et problem i slike prosjekter kan være at de ulike partene må bruke mer tid på å løse problemer enn antatt og forutsatt. Dette gir raskt krav om kompensasjon fra den belastede part og fokus skifter fra felles problemløsning til diskusjon rundt kravene. Sardén (2005) peker på andre måter usikkerheten i prosjektet kan behandles,

f.eks. gjennom praktisk og aktiv prosjektledelse. I stedet for å regulere alle relasjonene i prosjektet gjennom kontraktsforhold alene bør koordinering, tverrfaglig samarbeid, kommunikasjon og gjensidig tillitt stå sentralt i måten å lede prosjektet på. Partenes oppfattelse av risiko kan da bli mindre, og samarbeid rundt utvikling av nye løsninger kan senke usikkerheten i tidligere prosjektfaser. «*Målet for prosjektledelse bør være å minimere usikkerheten skapt av kompleksiteten gjennom å transformere kaos til variasjon*» (Sardén, 2005).

3.5. ØKONOMI OG FREMDRIFT

En oversikt over livsløpsvurderinger (LCA) fra Norge og Sverige viser at trevirke som material kan være konkurrerende på pris, sammenlignet med betong (Petersen and Solberg, 2005). Petersen and Solberg (2005) sier at et svakt punkt i mange LCA'er er at kostnader og andre økonomiske faktorer som påvirker substitusjonen fra betong til tre ikke inkluderes. En utfordring blir da å sette miljøgevinsten i redusert CO₂-utslipp i sammenheng med hvordan substitusjonen påvirker prosjektøkonomien.

3.5.1. BYGGEKOSTNAD

I 3-5 etasjes boligbygg, hvor betong er byttet ut med vanlig stenderverk i tre, viser en undersøkelse at kostnaden for tre-alternativet er 5,6% lavere, ved en totalentreprise (Eriksson, 1995). En annen undersøkelse av et 3 etasjes boligbygg, hvor betongvegger er byttet ut med veggelementer i massivtre, viser at kostnaden for tre-alternativet er 1,3% lavere i totalentreprise-kostnad (Gustafsson, 1998). Disse undersøkelsene er fra Sverige.

I en casestudie i USA ble 7 massivtre-prosjekter sammenlignet med referanseprosjekter som var sammenlignbare og bygd ved tradisjonelle metoder (Smith et al., 2017). Dette var prosjekter av ulike typer, størrelser og omfang, slik at sammenligningen ble generell og ikke gjaldt kun en type bygg. Studien viser at gjennomsnittlig kostnad var 4,2% lavere for massivtre, sammenlignet med sine tradisjonelle konkurrenter. Av de 7 prosjektene var fire "pilotprosjekter", dvs. at de var de første massivtre-byggene de involverte partene prosjekterte og bygget. Det var to av disse som ble dyrere enn referanseprosjektene. Det viktigste funnet var at repetisjon av lignende massivtre-prosjekter ga bedre kostnadskontroll og økt produktivitet, samt at engangsprosjekter gir større sannsynlighet for å bli dyrere enn tradisjonelle konstruksjoner.

I en annen studie ble fire alternative bæresystemer istedenfor plasstøpt betong og stål evaluert for et kunstsenter på 40000m² (Mallo and Espinoza, 2016). De fire alternativene gikk fra å være

hybridversjoner, mellom betong og massivtre, til et rent massivtre-bygg hvor alle elementer i bæresystemet var av massivtre. Resultatene viste at ved å bytte ut deler eller hele bæresystemet med massivtre kunne man spart opptil 21,7% i kostnadene til bæresystemet isolert. De to sistnevnte studiene er som sagt fra USA. De kan likevel gi en pekepinn selv om det er andre forutsetninger enn det som er gitt av det norske regelverket, hovedsakelig brann og akustikk.

Finstad (2014) studerte i sin masteroppgave virkningene av bruk av massivtre i bygging av studentboliger, utført av Veidekke. Leverandør av massivtre var den samme som i Moholt 50|50 og i casen. Sammenlignet med erfaringstall fra norsk prisbok fant han at prosjektet studentboliger på Ås ville gitt en byggekostnad som var 4% høyere om man hadde bygget i stål og prefabrikkert betong. Bæresystemet ville riktignok isolert sett vært rimeligere for betong og stålalternativet. Sammenligningen ble basert på en del antagelser og er ikke utført for to utførte prosjekter. Det var også studentboliger som ble studert. Det er en faktor som gir en del ulike forutsetninger fra casen MP2 og MP3, i denne studien. Selv om det er knyttet en del usikkerhet til resultatene kan de gi en relativt realistisk bilde på kostnadsforskjellen under norske forhold.

3.5.2. BYGGETID

I studien til Smith et. al. (2017) er det funnet at gjennomsnittlig tidsreduksjon av de studerte byggeprosjektene var på 20% i favør av massivtre-prosjektene. Årsaken er at massivtre-elementene prefabrikeres og mengden arbeid på byggeplassen går ned. På byggeplassen monteres elementene fortløpende når de ankommer.

Finstad (2014) fant i sin studie av at montasjetiden av massivtre-elementer kunne være opp mot 30-40% raskere enn det som normalt brukes til bæresystemet i tilsvarende bygg med betong og stål. Den totale byggetiden ble anslått å være noe lavere enn det normalt ville vært for betong.

3.6. LEAN OG INVOLVERENDE PLANLEGGING

Ideen til Lean Production ble opprinnelig utviklet av den japanske bilindustrien (Womack et al., 1990), (Howell, 1999). Lean har i dag spredd seg til flere andre områder, som f.eks. bygg- og anlegg. Veidekke benytter sine egne tilpasninger av Lean-virkemidler som Involverende Planlegging (IP) og taktplanlegging (Kalsaas et al., 2014). Dette kapitlet presenterer litt om Lean-filosofien og virkemidlene Veidekke bruker i sine prosjekter.

3.6.1. LEAN CONSTRUCTION

Lean Construction er byggenæringens videreutvikling av Lean Production (Green, 2011). Hovedmålet med Lean Construction er å øke orienteringen mot kunden og flyt i prosjektet, minimere avfallsproduksjon, fokusere på produktkvalitet og reduserte kostnader (Sardén,

2005), (Crowley, 1998). For å oppnå disse målene fokuserer Lean Construction på to hovedprosesser i byggeprosessen, design (prosjektering) og produksjon (Crowley, 1998).

“*Construction is complex production of a one-of-a-kind product undertaken mainly at the delivery point by cooperation within a multi-skilled ad-hoc team*” (Bertelsen and Koskela, 2004). Det unike produktet gjør det nødvendig å integrere prosjekterings- og produksjonsprosessene med hverandre. Prosjektets kompleksitet gir økende viktighet av informasjonsflyt mellom partene innad i prosessene og mellom de ulike prosessene.

3.6.2. LAST PLANNER SYSTEM

Innenfor Lean Construction foreslås ulike metoder for å oppnå målsetningene i et prosjekt. "The Last Planner System" (LPS) er en av disse, mye brukte, metodene. "The Last Planner" er det siste leddet i en organisasjon som planlegger hva han/hun skal utføre av fysisk produksjon (Ballard and Howell, 1994). Dette kan f.eks. være et lag som planlegger neste dags produksjon på byggeplassen. Det som er viktig med LPS er at fokus skal flyttes fra arbeiderne og til flyten av arbeid som binder dem sammen (Ballard, 2000). LPS kan forstås som en mekanisme for å transformere hva bør gjøres til hva som kan, og vil, gjennomføres. Dette er noe som best planlegges av den utførende.

I prosjekteringsprosessen er det to hovedfordeler ved å benytte LPS (Koskela et al., 1997). Prosjekteringsprosessen gjøres transparent i den forstand at deltakerne selv står for planlegging av sine arbeidsoppgaver. Aktiviteten blir da veldig målbar for hver enkeltes arbeidsoppgaver. Den andre fordel er at det blir enklere å sette klare mål og milepæler for å følge opp prosjekteringsprosessen og forbedre denne. «*The LPS has its main focus on the planning process (how to plan)*» (Bølviken et al., 2015). Dvs. at de involverte blir mer bevisst på planleggingen av tidsbruken, men samtidig også bevisst på hva som gjøres i tiden som brukes.

3.6.3. INVOLVERENDE PLANLEGGING

Involverende Planlegging er Veidekkes egne tilpasning av LPS» (Frydenberg et al., 2012). Dette er en arbeidsmetodikk som er utarbeidet og tilpasset Veidekke. «Involverende Planlegging (IP) er en metodikk for å drive framdriftsplanlegging i prosjektbasert produksjon» (Kalsaas et al., 2014). IP skal redusere tapt tid og skape flyt i produksjonen ved at alle er med å delta i planleggingen av sin egen arbeidsdag.

Veidekke har følgende 7 punkter som beskriver hva IP dreier seg om¹⁹:

- At planer lages i fellesskap av dem som skal gjøre arbeidet.
- At alle har kjennskap til og innflytelse på egne arbeidsoppgaver.
- Å lage planer gjennom å gi gjensidige løfter.
- Rullerende planlegging og økt detaljering av planen jo kortere tid det er til arbeidet skal utføres.
- Å fjerne hindringer og farer systematisk slik at kun sunne og sikre aktiviteter kommer til utførelse.
- Når planlagte aktiviteter ikke blir gjort, finn årsaken og eliminer hindringene
- At ulike plannivåer har ulike eiere

Hovedelementene i IP er: arbeidsdeling i tid, hindringsanalyse, plansystemet, møtestrukturen og risikostyringen. Arbeidsdeling i tid går på at ulike ledelsesnivåer i prosjektet planlegger i ulike tidsperspektiver. Formenn og bas i kortest tidshorison og prosjektlederen i lengst tidshorison. Plansystemet går på at de strategiske planene utarbeides én gang og operative planer har strategiplanen som utgangspunkt. Planene øker i detaljeringsgrad jo kortere tidshorison planene har. Møtestrukturen er tilpasset plansystemet slik at de involverte partene i en plan deltar i møtene om denne planen. Hindringsanalysen er en systematisk fjerning av hindringer i produksjonsprosessen. Risikostyringen handler om å systematisk analysere risiko og fjerne farene.

3.6.4. TAKTPLANLEGGING

Taktplanlegging er en måte å strukturere arbeidet på og en metode innen Lean Construction (Fransson et al., 2014). En slik arbeidsstrukturering er en metode for å planlegge produksjon (Vatne and Drevland, 2016). Produksjonsplanleggingen kommer til uttrykk gjennom taktplaner. Dette er planer som viser hvilket arbeid som skal utføres på hvilket sted i bygget til hvilken tid. Hver arbeidspakke har gitte tidshorisoner. Etter taktplanen følger påfølgende aktiviteter etter hverandre etter en fast plan rundt i bygget. Vatne (2016) peker på viktigheten av at arbeidspakkene i taktplanen i størst mulig grad bør være skilt ved fag, for å gjøre utførelsen mest mulig effektiv. Den største fordelen med taktplanlegging bemerkes å være lite sløsing av tid til uproduktive aktiviteter.

¹⁹ VEIDEKKE. 2017. *Involverende planlegging*. <http://veidekke.no/incoming/article8702.ece/binary/Faktaark-Involverende-Planlegging-2014.pdf>.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

Dette kapittelet presenterer funnene fra case-studiet. Det er resultatene fra intervju, observasjon og dokumentstudier. Resultatene presenteres kapittelvis etter problemstillingenes rekkefølge, med de tre hovedprosessene i byggeprosessen som underkapitler. Resultatene gir det empiriske grunnlaget for diskusjonen. De presenteres og diskuteres fortløpende etter de ulike identifiserte momentene fra case-studiet. Resultatene og tilhørende diskusjon danner grunnlaget for konklusjonene på problemstillingene.

4.1. FORSKJELLER VED Å BYGGE I MASSIVTRE OG BETONG

Delkapittelet presenterer og diskuterer funnene fra case-studiet knyttet til problemstilling 1; «Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plasstøpt betong, og hva er bakgrunnen for forskjellene?». Funnene for problemstillingen er delt inn i underkapitlene designprosess, prosjekteringsprosess og produksjonsprosess. Dette er de prosessene hvor VDT var sterkt involvert.

4.1.1. DESIGNPROSESS

Gjennomføringen av designprosessen

Designprosessen for MP2 og MP3 ble gjennomført i to ulike prosesser, selv om MP2 og MP3 ble regnet som et og samme prosjekt. Bakgrunnen var behovet for kompetanse på massivtre. VDT hadde opparbeidet seg slik kompetanse og et nettverk av kontakter gjennom studentboligprosjektet Moholt 50|50. Prosjektorganisasjonen på Lilleby valgte å hente inn en intern VDT-ressurs med kunnskap og erfaringer fra Moholt 50|50 som prosessleder for MP3. Selve utførelsen av designprosessen ble gjennomført på samme måte for MP2 og MP3, gjennom IP og de metoder VDT vanligvis benytter. Det var tilføringen av kompetanse som ble mer omfattende for MP3 enn for MP2, slik VDT beskrev det. I tillegg, et økt fokus på målsettingen. VDT og arkitekten påpekte imidlertid at utgangspunktet først var at det skulle bygges ett betongbygg, så to separate betongbygg, før man kom på ideen med å gjøre det største bygget om til massivtre for å redusere vekten av bygningsmassen. Utfordrende grunnforhold ble oppgitt som en av hovedårsakene til at man startet utviklingen av MP3, et massivtre-bygg, istedenfor et betongbygg. Designprosessen ble da delt for MP2 og MP3.

I et prosjekt som dette, hvor et nytt og forholdsvis ukjent bæresystem skulle benyttes, virker det som en god strategi å involvere rådgivere tidligere enn normalt, slik det ble gjort i dette prosjektet. De ble dermed gjort ansvarlig for planleggingen av hvilke oppgaver de selv skulle utføre. IP har dermed vært et viktig virkemiddel gjennom hele byggeprosessen, ikke bare i

designprosessen. Å bruke den samme fremgangsmåten i prosessen ga VDT en form for kontroll og oversikt underveis i prosessen, selv om det var mye som var nytt og ukjent med det nye bæresystemet. Ikke minst ga det en kontroll over fremdriften. Siden prosessen ble gjennomført på den vanlige måten for VDT-prosjekter, med IP, var det nødvendigvis andre tiltak som måtte iverksettes for å redusere usikkerheten det ukjente bæresystemet introduserte. Den aller største forskjellen for designprosessen for MP2 og MP3, var at tilføringen av kompetanse ble mye mer omfattende for MP3. Grepet med å ta inn en prosessleder med erfaring med massivtre, var nok avgjørende for fremdriften i designprosessen. Spesielt siden usikkerheten i utgangspunktet var høyere for MP3 enn for MP2. Det var også et viktig tiltak for også å redusere usikkerhetsnivået tidlig i prosjektet for VDT. Usikkerheten og risikooppfattelsen er tradisjonelt størst tidlig i byggeprosjekter. I dette tilfellet, ble denne enda større pga. introduksjonen av nytt bæresystem.

Brann, akustikk og usikkerhet

For prosjektorganisasjonen på Lilleby var plasstøpt betong godt kjent, og de kjente til de ulike problemstillingene det medførte. Designprosessen for MP2 gikk, slik VDT beskrev, av seg selv. Rammebetingelsene for ei boligblokk i plasstøpt betong var også godt kjent for rådgivere og tekniske fag. Kunnskapen om denne produksjonsmetoden gav lav usikkerhet og behovet for involvering av de ulike aktørene i de tidlige prosessene kunne begrenses.

Situasjonen for massivtre var helt annerledes. Siden bæresystemet var i CLT, fulgte strengere og mer omfattende krav til akustikk- og brannteknisk prosjektering. Usikkerheten til effektene av disse fagene, pga. CLT-konstruksjonen, ble derfor vurdert som kritisk av VDT i designprosessen. Flere rådgivere enn de som prosjektorganisasjonen på Lilleby vanligvis har med seg i en designprosess, ble engasjert mer aktivt inn mot MP3. Dette var aktørene som hadde vært med på prosjektet Moholt 50|50. Bl.a. brannrådgiver, akustikkrådgiver og massivtre-leverandør med egen rådgivende ingeniør bygg (RIB) for massivtre (RIB-MT). Arkitekten påpekte at man ved betongbygg normalt sett ikke involverer RIB i like stor grad i designfasen som RIB-MT ble for MP3. Det var underveis bl.a. et stort fokus på å skalere ned dimensjonene på CLT-elementene til et minimum for å redusere innkjøpskostnaden for CLT-elementene. Til det formålet samarbeidet VDT, arkitekten og RIB-MT tett sammen. Dette måtte også gjøres i samarbeid med særlig brannrådgiver.

Usikkerhet til akustikkløsninger

Både brann- og akustikkrådgiver viste til at de ble nødt til å legge seg på et mye høyere detaljeringsnivå for MP3 enn de normalt gjør for vanlige betongbygg. For akustikkens del var

hovedutfordringen tapt masse i leilighetsskillevegger og i etasjeskillere. Akustikeren pekte her på en vesentlig forskjell mot betongbygg. Betongveggen og etasjeskilleren står seg nesten selv og klarer å innfri lydreduksjonskravene mellom boenheter etter den norske standarden, ifølge rådgiveren. For massivtreets tilfelle, måtte man tenke helt annerledes og bygge opp både vegger og etasjeskillere med påforinger, for å bygge på flere lydisolerende lag på CLT-elementene. Det ble derfor lagt ned en større innsats tidligere enn normalt på prosjektering av akustikk-løsninger for å sikre at lydreduksjonskravene ville bli tilfredsstillt.

Usikkerhet til brannkonseptet

Noe av det samme opplevde brannrådgiveren. Tre er et brennbart materiale noe som ble påpekt som den aller største utfordringen ved brannteknisk prosjektering av massivtre-bygg. I likhet med lydreduksjon har betong også en langt bedre brannmotstand enn det tremateriale har, siden det er ubrennbart. Den branntekniske rådgiveren hadde erfaring fra Moholt 50|50. Det var som nevnt studentboliger, hvor én hel etasje ble definert som én boenhet og branncelle. I casen, hvor hver enkelt leilighet ble definert som ulike brannceller, oppstod helt nye utfordringer som ingen av de involvert i prosjektet hadde erfaring med fra før. Rådgiveren sa derfor at det i designprosessen ble mye nybrottsarbeid hvor de, akustikkrådgiveren, arkitekten og VDT jobbet aktivt sammen for å utvikle hovedprinsippene for løsningene i bygget. Dette var en nødvendig og avgjørende prosess å få gjennomført tidlig, for å sikre en rasjonalisering og en industrialisering av produksjonsprosessen, mente brannrådgiveren.

VDT oppfattet brann og akustikk som de to områdene hvor det var mest usikkerhet og hvor det krevde mest fokus. Dette er en oppfattelse som ble støttet av arkitekten og brann- og akustikkrådgiverne selv. Kombinasjonen av de akustiske og branntekniske løsningene ble nok likevel det som skapte de største utfordringene knyttet til utviklingen av løsninger. I tillegg til at TEK stiller større krav til brannteknisk prosjektering når bæresystemet er av brennbart materiale, og det er de samme lydreduksjonskravene uavhengig av materiale. Av den grunn er det derfor naturlig at det også ble ekstra arbeidsmengde knyttet til de to rådgiverfagene. Mangelen på kjente og godkjente løsninger, spesielt i interaksjonen mellom bæresystemet i CLT og brann og akustikk, ser ut til å ha vært den største kilden til usikkerhet i designprosessen i prosjektet. Dermed også årsaken til en mer omfattende designprosess og mer utvikling av nye løsninger for MP3 enn for MP2. De grepene som VDT gjorde ved å engasjere rådgivere som tross alt hadde noe kompetanse på massivtre, og CLT, må sies å ha vært smarte. Lederen for designprosessen for MP3 hadde samarbeidet med disse i prosjektet Moholt 50|50, noe som sannsynligvis var med på å redusere en del av usikkerheten tidlig i prosjektet.

Tidlig involvering av rådgivere og underentreprenører

Også aktører som RIB-betong og særlig geoteknikkrådgiver ble mer aktivt trukket inn i designprosessen for MP3 enn for MP2. Dette var for å få en kostnadsbesparende effekt. Massivtre-byggets lavere vekt ga rom for en enklere fundamentering og mindre komplisert bunnplate, ifølge byggherre og VDT. De tekniske fagene ble i langt større grad involvert i designprosessen i MP3 enn for MP2. VDT så det som avgjørende for å redusere prisrisiko og inkludere disse tidlig. Dette var først og fremst for å bevisstgjøre dem om de egenskapene og fordelene et bygg i CLT førte med seg, slik at de tekniske fagene vurderte risikoen lavere ved pristilbud. Det ble derfor gjennomført flere avklarings- og informasjonsmøter opp imot de tekniske fag i designprosessen. Angående prising av sine total-underentreprisetilbud sa de tekniske fagene at de la liten vekt på at det ene bygget i prosjektet skulle oppføres i CLT. Beskrivelsene av de tekniske anleggene var så å si like i de to byggene i og med at byggene var relativt likt utformet. De anså dermed risikoen til deres bidrag i prosjektet som relativt likt et vanlig betongprosjekt. Arkitekten, akustikk- og brannrådgiveren var dermed de som opplevde størst risiko knyttet til deres bidrag i prosjektet.

Generelt var fokuset til VDT å involvere rådgivere og prosjekterende så tidlig som mulig. Både for å utvikle løsninger tidlig og for å redusere usikkerheten i prosjektet. Begge var nok viktige for at VDT skulle sitte med lavere prisrisiko for underentreprisene. Det ga dermed også et lavere usikkerhetsnivå for VDT. Resultatet ble et mye høyere detaljeringsnivå for MP3 enn det som er vanlig fra en designprosess. Man hadde en fullstendig RIB-modell i 3D for massivtre allerede i designprosessen. Arkitekten og VDT sa at det tradisjonelt ikke er behov for det med plassbygde betongkonstruksjoner som i MP2. I et slikt prosjekt, hvor løsninger måtte utvikles fra bunn av, var nok en slik tilnærming med tidlig involvering smart. Involveringen gav en tilhørighet og en forankring til prosjektet for underentreprenørene. Det resulterte riktignok i en mer kostbar designprosess, hvor flere timeverk ble brukt. Målet med tidlig involvering bør i alle prosjekter for totalentreprenøren være å redusere de store kostnadene knyttet til underentrepriser og eget timeforbruk i den mest kostbare prosessen, produksjon. Dette er noe den tidlige involvering ser ut til å ha bidratt til.

Kostnadsforskjeller fra designprosessen

For å illustrere de største forskjellene som er nevnt er noen av de mest sentrale kostnadsforskjeller i designprosessen samlet i tabell 4.

Tabell 4: Kostnader fra designprosessen

Kostnader fra designprosessen (NOK)		
	Maskinparken 2	Maskinparken TRE
RIB	80'	165'
Brannrådgiver	42'	260'
Akustikkrådgiver	42'	46'

De kostnader som er fremstilt i tabell 4, er de som det lyktes å skille ut og sammenligne for MP2 og MP3, fra designprosessen. Et viktig fag som arkitekten, og andre mindre fag, kunne ikke sammenlignes. Det kommer av at MP2 og MP3 ble regnet som ett prosjekt. Byggherrens kostnader for designprosessen kom fra løpende timing, og var f.eks. fra arkitekten fakturert sammen for de to byggene.

I tillegg er det verdt å nevne at sammenlignet med det forrige byggetrinn på Lilleby, Maskinparken 1, var behovet for geotekniske utredninger vesentlig lavere for MP2 og MP3. For Maskinparken 1 påløp en kostnad på 307', mens det på MP2 og MP3 en samlet kostnad på 142'. En reduksjon på 54%. Mye av dette skyldes et lettere massivtre-bygg. For arkitektens del var de påløpte kostnadene til MP2 og MP3, kun 7% høyere enn for Maskinparken 1. De to byggetrinnene var relativt like i størrelse, antall leiligheter og type leiligheter. Byggherren og arkitekten påpekte at en stor del av grunnen til at arkitektkostnaden var relativt like, var fordi det ble nødvendig med et par ekstra runder med omtegning av plantegningene for Maskinparken 1. Dette viser at hvis man ikke treffer markedet med riktig type leiligheter, vil arkitektkostnaden i en designprosess kunne bli nesten like høy som i et pilotprosjekt med CLT, hvor man treffer riktig første gang.

Sett bort fra kostnaden til geoteknisk rådgiver, ser man at de forskjellene som er nevnt i delkapitlet, pga. at MP3 ble bygget i CLT, tydelig gir utslag ved at MP3 ble mer kostbart. De økte kostnadene kan sies å ha vært et resultat av risikoreduksjon fra VDT sin side.

4.1.2. PROSJEKTERINGSPROSESS

Større møteomfang

De ordinære prosjekteringsmøtene, hvor alle de prosjekterende var samlet, ble gjennomført med samme omfang som i andre byggetrinn på Lilleby. VDT la i stedet opp til at en større del av prosjekteringa for MP3 ble tatt utenfor de ordinære prosjekteringsmøtene. Dokumentstudiene viste at det totalt ble gjennomført 15 særmøter spesielt for MP3, hvor 8 av de hadde akustikk og brann som tema. Til sammenligning ble det kun avholdt 4 særmøter spesielt for MP2.

I tillegg ble det avholdt 10 særmøter om felles tema som f.eks. grensesnitt mot andre byggetrinn, fellessystemer som tilkobling til strøm og avfallssystem, geoteknikk o.l. Grepet med økt bruk av særmøter ble tatt for å redusere tiden beslaglagt av MP3 i ordinære prosjekteringsmøter. Det var tydelig spesielt brann, akustikk og arkitekt som VDT hadde økt antall særmøter med. En del av grunnen var også at det var forhold som ikke var tilstrekkelig løst i designprosessen. Ifølge VDT viste det seg, som i designprosessen, at behovet for utvikling av nye konstruksjonsdetaljer for MP3 var stort. Dette ble gjort hovedsakelig i samarbeid mellom VDT, arkitekt, brann- og akustikkrådgiver. Spesielt arkitekten uttrykte at de fikk mer arbeid enn for MP2 med tegning av detaljer og modellering av 3D-modell. Dette var på tross av at man trodde en god del var løst i designprosessen. Det ble også nødvendig med noen få særmøter med tema sjakter, gjennomføringer og branntetting med de tekniske fag for MP3. Utover dette, krevde det ikke særlig mer oppfølging fra VDT sin side mot de tekniske fag i prosjekteringsprosessen. VDT og de prosjekterende for de tekniske fagene understreket at dette kunne ha mest å gjøre med at de tekniske anleggene i prinsippet var de samme i MP2 og MP3.

Utover en økt bruk av særmøter, var det et mål for VDT og prøve å kjøre prosessen tilsvarende det tidligere prosjekteringsprosesser hadde blitt gjennomført. Det ble derfor avholdt like mange prosjekteringsmøter som for de tidligere byggetrinnene på Lilleby, nemlig annenhver uke, og totalt 14 møter. VDT var usikre på hvordan de klarte å balansere tidsbruken i disse møtene mellom MP2 og MP3, eller om det hadde vært en skjevfordeling. Det ble påpekt fra VDT sin side at man burde forvente litt større andel av tidsbruken til MP3 med tanke på arealfordelingen mellom byggene. Observasjonene i prosjekteringsmøtene avdekket at saksomfanget lå (70-100%) høyere for MP3 enn for MP2, selv om det ble forsøkt å styre tidsbruken i møtene nøytralt. Arkitekten og de andre i prosjekteringsteamet antydte at det nok hadde vært en viss forfordeling av tidsbruken til MP3, i de ordinære prosjekteringsmøtene. At det var en slik forskjell var det derimot ingen som mente og trodde. Gjennom observasjonene ble det klart at de fleste sakene som var relatert til MP2 handlet først og fremst om etterspørring av leveranser av tegninger o.l. Sakene relatert til MP3 handlet mer om konstruksjonsmessige utfordringer, tilhørende avklaringer og kollisjoner mellom fag i BIM-modellen.

Et møteomfang på tre ganger flere særmøter for MP3 enn for MP2, var en god del. Det var et vesentlig høyere tidsforbruk til møtevirksomhet, spesielt knyttet til brann, akustikk og arkitekt. Når observasjoner og indikasjoner fra intervju i tillegg viste at MP3 ble forfordelt tidsmessig i prosjekteringsmøtene, er det grunn til å si at MP3 krevde vesentlig mer ressurser gjennom tidsbruken i prosjekteringsprosessen. Det er klart at observasjonene kan ha vært påvirket av på

hvilket tidspunkt i prosjekteringsprosessen observasjonene fant sted. Likevel foregikk prosjekteringen av begge bygg samtidig, og leveransen av tegningsunderlag til CLT-produsenten skulle skje omtrent i samme tidsrom som tegningsunderlaget til betongproduksjonen. Det gir derfor grunn til å tro at observasjonene var relativt representative for prosjekteringsprosessen som en helhet. Responsen fra intervju med de prosjekterende støttet i tillegg observasjonene. Selv om saksomfanget ikke nødvendigvis var tilsvarende som observasjonene, kan man med bakgrunn i dette med relativt stor sikkerhet si at det var høyere for MP3 enn for MP2 gjennom hele prosessen. I dette tilfellet var MP3 og massivtreet årsaken til det økte møteomfanget i prosjekteringsprosessen. Det ville nok likevel vært sannsynlig at en tilsvarende effekt ville ha blitt resultatet, dersom et annet, nytt, byggemateriale hadde vært introdusert.

Økt usikkerhetsnivå for rådgivere og prosjekterende

De prosjekterende opplevde i prosjekteringsprosessen at ulike ting krevde mer tid enn antatt. Felles for alle de tekniske fagene, var mer modellering av utsparinger til eget fag. Siden CLT-elementene innehar litt andre lastbærende egenskaper enn betong, ble ikke alle opprinnelige og vanlige plasseringer av utsparinger, godkjent av CLT-leverandøren. De prosjekterende måtte dermed jobbe videre med plassering og tegning av utsparingene. Dette ble ekstraarbeid i forhold til normalt for betongbygg. Et mer spesifikt eksempel på ekstra arbeid for den prosjekterende for elektro, var utstrakt slissing på CLT-elementene. Dette var et valg underentreprenøren selv tok. Forhåndsslissing av føringsveier til kabler og koblingsbokser var noe CLT-leverandøren tilbød mot en kostnad. Underentreprenøren anså dette grepet som nødvendig, selv om det ble noe mer arbeid under prosjektering. De uttrykte at målet var at det skulle bli tidsbesparelse i produksjonsprosessen. På den måten slapp de da selv å slisse manuelt med motorsag for anslagsvis 50 komponenter i hver etasje. Den prosjekterende anslo at han brukte et sted mellom 10-20% mer av sin totale prosjekteringstid til MP3. Han påpekte at treverk i ettertid vil være mye mer fleksibelt for endringer enn betong, også for evt. feil i prosjektering. Det er da bare er å slisse på nytt med motorsag, i stedet for å meisle i betong.

Siden massivtre var noe nytt i boligbygging for alle de involverte, ville man naturlig nok treffe på uventede og nye oppgaver. Den muligheten underentreprenøren for elektro benyttet seg av ved å forhåndsslisse for føringsveier, har vært hensiktsmessig. Selv om det medførte en ekstra kostnad for dem, kan det vise seg at de tjener på det under produksjonsprosessen. I pilot-prosjekter kan det raskt oppstå andre uventede problemstillinger, og det vil derfor være lurt å tilrettelegge for en enklere installasjon senere, slik som underentreprenøren gjorde.

Betongbjelker i kjelleren

Til tross for at MP3 er bygd i CLT, var en av de største forskjellene for prosjekteringen av kjelleren i betong. CLT-elementenes overføring av last ned på dekket over kjeller, ga en helt annen lastsituasjon enn den ville vært med betongvegger i 1.etasje. Ifølge RIB gav dette store og delvis uforutsette utfordringer. For å føre lasten fra hele MP3 ned i grunnen, ble det etter hvert nødvendig med veldig store bjelker i betong, under dekket over kjeller. RIB forklarte dette med at betongvegger i stedet for CLT-vegger i 1.etasje, som i MP2, ville veggene fungert som bjelker. Behovet for bjelker under dekket over kjeller ville dermed blitt mindre. Bjelkene ble som følge av massivtreet så store at det ble vanskelig å gå under dem med f.eks. ventilasjonskanaler og kabelbruer uten at fri høyde opp fra gulv ble for lav med hensyn på kravene. Deler av løsningen ble store utsparinger gjennom bjelkene, noe som var svært utfordrende å få til. Underveis i prosjekteringsprosessen opplevde også RIB at de beregnede lastene fra RIB-MT endret seg. Dette gjorde de eksisterende utfordringene større. RIB uttalte at han ble nødt til å kjøre kapasitetsberegninger flere ganger enn vanlig, noe som førte til anslagsvis tre ganger så stort tidsforbruk for MP3 enn for kjelleren i MP2. En annen utilsiktet negativ effekt av bjelkene ble, ifølge den prosjekterende for elektro, brannvarsling. Siden bjelkene ble 1-1,5m høye, fungerte de som vegger som ville hindre evt. røyk å nå branndetektorene. Løsningen ble derfor å prosjektere inn ekstra detektorer mellom hver bjelke. Noe som igjen bidro til mer tidsbruk for den prosjekterende.

Både gjennom intervju og observasjoner har det vært tydelig at den felles parkeringskjelleren under MP2 og MP3 skapte utfordringer prosjekteringsmessig. Mange av disse hadde de involverte på forhånd ikke regnet med. Det var nok naturlig at man tidlig i prosjektet fokuserte mye på utfordringene knyttet til selve CLT-elementene, og kanskje ikke nok på f.eks. følgene av at bæresystemet var i CLT.

Brannteknisk prosjektering

Ifølge den branntekniske rådgiveren består den branntekniske prosjekteringen av tre hovedelementer som skal bevises. Det er rømningsikkerhet, sikkerhet for redningsmannskaper og verdisikkerhet ved brann. Brann-rådgiverens oppfattelse var at de to første er relativt like som for et betongbygg, men at det er ved verdisikkerheten den store forskjellen kommer. TEK beskriver et konsept som «fullstendig brannforløp» som dimensjonerende. Rådgiveren uttrykte at dette er noe bransjen så langt har slitt med å avgjøre klart hva vil si for et massivtre-bygg. Siden VTEK ikke spesifiserer dette noe mer, er det TEK-teksten som er avgjørende for om man kommer i mål med den branntekniske prosjekteringen. Rådgiveren opplevde dermed et større

ansvar for tolkningen og utviklingen av det branntekniske konseptet. Detaljeringsgraden ble følgelig også høyere enn for et betongbygg, i og med at man ble nødt til å gjennomføre analytisk prosjektering. Rådgiveren anslo at det førte til en dobling av timeforbruket for et lignende bygg i betong. Et resultat ble også at mange av CLT-elementene i veggene ble tykkere enn behøvdde å være statisk. Ifølge rådgiveren, var hensikten at bygget skulle tåle at en vegg mister bæreevnen under en evt. brann og likevel kunne stå. Dette for at man ved massivtre-bygg må se bæresystemet som en helhet. I betongbygg tenker man på vertikale deler for hovedbæresystem og horisontale deler for sekundærbæresystem. Som hovedløsning på den branntekniske utfordringen ble resultatet for MP3 at alle massivtre-elementene måtte kles inn med gips og/eller branngips.

TEK-teksten er formulert på en slik måte at det i ethvert tilfelle er opp til rådgiveren å avgjøre om man er på sikker side eller ikke når det gjelder trebygg. Man må kunne si at det er rimelig at rådgiveren sikrer seg og velger løsninger som han føler seg komfortabel med og står inne for. Spesielt når utfallet av en brann kan få fatale konsekvenser hvis den branntekniske prosjekteringen ikke har vært god nok. Oppfattelsen til VDT og arkitekten, var at løsninger ble vel mye på sikker side. Mest med tanke på at det ikke ble noen synlige overflater av massivtre i bygget. Når rådgiveren må utføre risikoanalyser i stedet for pre-akseptert prosjektering, er det naturlig å regne med at det blir økte kostnader til den branntekniske prosjekteringen.

Akustikkteknisk prosjektering

Den store forskjellen sammenlignet med MP2, var ved de akustikktekniske løsningene i prosjektet tapet av masse i veggene og dekkene i MP3. Det krevde ekstra prosjektering. Nye tiltak for å lydisolere mellom leiligheter gjennom både vegger og dekker måtte utvikles. Rådgiveren på akustikk uttrykte at de hadde en del erfaring med bruken av CLT fra før, men at lydkravene i boligprosjekt gjorde det nødvendig med videreutvikling av alle de kjente løsningene. For MP3 var knutepunkter en av de største utfordringene. Knutepunktene er viktige for å forhindre forplantning av lyd fra element til element i bæresystemet. Utviklingen av dekkeløsningen ble også en kime til større forbruk av tid sammenlignet med i et betongprosjekt. Rådgiveren estimerte at et økt tidsforbruk på 50-100% var forventet i prosjektet. For å forhindre lydforplantning var i tillegg overgangene mellom de ulike løsningene for vegger og dekker avgjørende punkter. Detaljeringsnivået ble høyere enn normalt for å sikre lyd- og vibrasjonsdemping.

Det vil være naturlig i slike prosjekter hvor det er mye nybrottsarbeid at mer tid vil bli brukt på å utvikle løsninger. I tradisjonelle betongprosjekter har man gjerne en portefølje av tilgjengelige løsninger som kan benyttes. Utviklingen av nye løsninger vil nødvendigvis ta lengre tid da rådgiverne må beregne og sikre at deres løsninger er godt innenfor de krav som stilles til deres fag. I dette tilfellet var det videreutvikling av løsninger og detaljer til et boligprosjekt. Kanskje en av de type prosjekter som stiller størst krav oppfyllelsen av lydreduksjonskravene. Ikke bare de formelle kravene, men også de forventinger og krav fremtidige beboere har til byggets ytelser. Med bakgrunn i dette er det naturlig at det for rådgiveren ble opplevd som en vesentlig forskjell omfangsmessig med prosjektering av MP3 i forhold til et betongbygg.

Kostnadsforskjeller fra prosjekteringsprosessen

For å illustrere de største forskjellene som er nevnt i delkapitlet er noen av de mest sentrale kostnadsforskjellene i prosjekteringsprosessen samlet i tabell 5.

Tabell 5: Kostnader fra prosjekteringsprosessen

Kostnader fra prosjekteringsprosessen (NOK/ BRA)		
	Maskinparken 2	Maskinparken TRE
Arkitekt	218	260
RIB	95	101
Brannrådgiver	21	42
Akustikkrådgiver	32	55

De kostnadsforskjeller som er fremstilt i tabell 5 er de som skilte seg ut fra prosjekteringsprosessen gjennom dokumentstudiene, og som var direkte sammenlignbare for MP2 og MP3. Alle kostnader til rådgivere var faste tilbudspriser og ikke basert på timing som i designprosessen. De tekniske fagene var total underentreprenører i prosjektet og deres tilbud var derfor samlet for prosjektering og produksjon. Det var dermed ikke mulig å trekke ut kostnadene for prosjektering. Ved deres pristilbud til VDT var imidlertid totalkostnaden for prosjektering og produksjon til MP2 og MP3 tilnærmet like når de ble delt på BRA. De tekniske sa også i intervju at de hadde vurdert risiko relativt likt for de to byggene. Det er derfor grunn til å tro at prosjekteringskostnaden for VDT ikke ble høyere til de tekniske fag med hensyn på at MP3 er i CLT.

I kostnadsoversikten er ikke kjellerkonstruksjonen med, hverken for RIB eller arkitekt. RIB-kostnaden for kjelleren er ikke tatt med i tabellen da denne kostnaden var samlet for den felles

kjelleren. Dette var egne entrepriser i prosjekteringa. RIB-kostnadene var begge for 1.etg og oppover, og er i tabell 5 delt på BRA for å lettere kunne sammenlignes.

Det kan se ut som de største forskjellene kostnadsmessig, i prosjekteringsprosessen, var knyttet til de forskjeller som er beskrevet tidligere i dette kapittelet. Arkitekt, brann og akustikkrådgiver var de fag hvor tilbudsprisene avvek mest mellom MP2 og MP3. RIB-kostnaden var relativt lik, noe som kanskje kan indikere at det strukturelt sett ikke var så mye mer utfordrende å prosjektere CLT-bygget i forhold til betongbygget. At de andre tre fagene som er tatt med i kostnadssammenligningen har relativt store avvik kan nok i stor grad tilskrives den økte graden av nybrottsarbeid. Det innebærer økt mengde detaljtegning og detaljprosjektering. Alle tre uttalte i intervju at de så et behov for økt tidsbruk, og prosjekteringstilbudene reflekterte dette.

Det store spørsmålet er hvordan kostnadsutviklingen vil kunne bli ved et evt. kommende byggeprosjekt i CLT. Hvis VDT klarer å nyttiggjøre det prosjekterte materialet fra prosjektet bør man kunne forvente en reduksjon i prosjekteringskostnader. For så vidt også i designkostnader. Hvor mye man imidlertid kan forvente å kunne redusere disse kostnadene med vil være helt avhengig av i hvor stor grad man klarer å kopiere løsningene fra MP3. Hvor stor del av prosjekterings- og designkostnadene i casen som dermed kan kalles en førstegangskostnad, vil man kunne få svar på hvis VDT i fremtiden bygger et nytt CLT-prosjekt. Det bør helst da være rimelig likt MP3.

Eksempelvis tester av støyforhold og lydreduksjon når MP3 er ferdigstilt vil også kunne påvirke og bidra til justeringer av de løsninger som ble valgt og prosjektert for MP3. Et moment som kan tale noe imot kostnadsreduksjon kan være at rådgivere og prosjekterende i casen opplevde å bruke noe mer tid enn de hadde forutsatt ved pristilbudet sitt til VDT. De opplevde således ikke like stor lønnsomhet som forutsatt. Dette vil i fremtiden kunne bidra til høyere pristilbud, eller like tilbud som i prosjektet. Samtidig uttalte bl.a. arkitekt at de så på casen som et læringsprosjekt for bedriften og knyttet noe av prisrisikoen til det. De sa også at de regnet med at prosjektet ville gjøre dem i stand til å effektivisere prosjekteringsprosessen ved et evt. senere prosjekt. Det er derfor noe uklart hvordan man kan forvente tilbudsprising i framtidige CLT-prosjekter. Sannsynligvis vil det kunne bli lavere hvis de samme rådgiverne og underentreprenørene igjen ble engasjert av VDT.

4.1.3. PRODUKSJONSPROSESS

Ulike bæresystem

Den mest åpenbare forskjellen i produksjonen av MP2 og MP3 var bærekonstruksjonen. CLT og plasstøpt betong krevde helt ulike produksjonsmetoder. VDT sammenlignet bærekonstruksjon i CLT-elementer med elementbygg i betong, hvor elementene også er prefabrikkert. Prefabrikasjon ble ansett av respondentene å ha den fordel at avvikene er små når elementene monteres. Det forutsettes da at elementene produseres riktig. For å unngå avvik måtte VDT kvalitetssikre mer underveis i hele produksjonen når bæresystemet er i plasstøpt betong. VDT kjøpte som nevnt et ferdig produkt fra CLT-leverandøren. Det gjorde at entreprenøren ikke var ansvarlig for eventuelle avvik som oppstod under produksjon og montasje av CLT-elementene. For MP3 var det kun montasje av elementene som foregikk på byggeplassen. MP2 derimot, som ble bygget i betong og stål, ble produsert på byggeplassen. Det ble forskalet, armert og støpt ut av egne fagarbeidere på plassen.

Selv om bæresystemene fra 1.etasje er ulike har de to byggene en sammenhengende kjeller i plasstøpt betong. RIB sa at man som oftest opplever at det blir mye ekstra arbeid i betongproduksjonen når han har mye beregning og tegning. Omfattende prosjektering for RIB gir ofte komplisert forskaling og armeringsarbeid. At så ble tilfelle i dette prosjektet ble bekreftet av VDT. Det ble understreket at bunnplata, vegger og søyler i kjelleren var så å si likt omfangsmessig for de to byggene i produksjon. Den store forskjellen i betongproduksjonen var dekket over kjeller. Både fra RIB og VDT ble det påpekt at man i tillegg til lastsituasjonen var uheldig med arealbruken i kjelleren. Spesielt under MP3, der det er mest parkering og kjøresoner. Under MP2 var det noe flere kjellervegger.

Ulik byggetid

VDT anså den relativt korte byggetiden som en av de største fordelene med bæresystemet i CLT. For MP3 ble bæresystemet montert i løpet av 8 uker. Bæresystemet i betong for MP2 ble produsert i løpet av 13 uker. MP3 er som nevnt 8 etasjer og MP2 er 5 etasjer. Dokumentstudiene viste at det for produksjonen av bæresystemet til MP2 gikk med omtrent 2450 timer for VDT, noe som ga et timeforbruk på 1,02 timer pr. BRA. For elementmontasjen i MP3 gikk det med omtrent 2550 timer for leverandøren, som ga et timeforbruk på 0,68 timer pr. BRA. Både for betong- og elementoppføringen var da alle timeverk nødvendig for produksjonen inkludert. Dvs. at supplerende for- og etterarbeid nødvendig for selve produksjonen og montasjen av bæresystemene var inkludert. Det ga dermed et reelt bilde av hva som må til av timeverk for å få et ferdig bæresystem med de to metodene. Selv om montasjetiden kun var 8 uker påpekte

VDT at CLT-leverandøren arbeidet vesentlig lengre dager enn fra kl.7-15 som VDT har som normal arbeidsdag.

Leverandøren viste til at sammenlignet med prosjektet Moholt 50|50 brukte de ca. 250timer mer i dette prosjektet på innfesting av elementer for å stive av bygget. Det ble påpekt at dette hadde en sammenheng med at det i MP3 var relativt sett få avstivende vegger i hver etasje, sammenlignet med Moholt 50|50.

For dekket over kjelleren var det VDT som stod for alle betongarbeider. Det var vanskelig å anslå eksakt timeforbruk ut i fra akkordskjemaet i dokumentstudiene. Siden akkordlønna (timelønna) til arbeiderne var tilnærmet lik, kunne det kalkulerte timeforbruket brukes til å si noe om forholdet mellom MP2 og MP3. Det kalkulerte timeforbruket viste at det var forventet at det skulle benyttes 75% mer timeverk for MP3 enn for MP2. VDT bekrefter at dette er forholdstall som stemte rimelig godt ut fra deres erfaring med arbeidsomfanget. Dvs. at det ble omtrentlig 75% høyere timeforbruk for MP3 enn for MP2, siden utbetalt akkordlønn (timelønn) var tilnærmet lik.

Innredningen var planlagt å følge en taktplan for begge byggene. Samme mannskap på tømmer for VDT, elektro, rør og ventilasjon skulle gå gjennom begge byggene i ukentlige forflytninger, i et takttog. Dokumentstudiene viste at i MP2 var innredningsfasen var planlagt å ta 19 uker pr. etasje og totalt 23uker på de fem etasjene. I MP3 var innredningen planlagt å ta 23 uker pr. etasje og totalt 30 uker på de åtte etasjene. Bakgrunnen for at innredningen var planlagt å ta lengre tid pr. etasje for MP3, var ifølge VDT behovet for flere og nye aktiviteter sammenlignet med i MP2. Som et resultat av de brann- og akustikk-løsninger som ble valgt og prosjektert i prosjektet, måtte tømmerfaget inn flere ganger i hver leilighet. Først måtte yttervegger lektes og gipses, deretter gulvet tynnavrettes med betong. Så måtte himlingen isoleres og gipses med to lag gips før man kunne sette opp og gipse innervegger. Av akustikkhensyn var innerveggene nødt til å stå oppå et tynnavrettet flytende gulv, og opp under himlingen. Disse operasjonene måtte tas i flere omganger. I betongbygget kunne alt av gipsing på yttervegger og oppføring og gipsing av innervegger skje i en og samme taktforflytningsrunde. Taket trengte heller ikke andre tiltak enn pussing og maling, siden etasjeskillerne var i betong. Maleren måtte for øvrig også male gipshimling i MP3 på samme måte som taket i MP2, så akkurat dette var likt for byggene.

Det VDT anså som den største fordelene med massivtre og CLT-elementer var forkortet byggetid for selve bæresystemet. Selv om VDT selv ikke ville klart å montere elementene innenfor normal arbeidstid på åtte uker, så de at CLT hadde en klar fordel i forhold til betong når man

delte medgåtte timer på BRA. Den samme forskjellen vil man se hvis man også deler på antall etasjer. Det ser ut til at man får produsert bæresystemet raskere på byggeplassen ved å bruke CLT. Dvs. at man får mulighet til å lukke bygget, starte innredningsarbeidene raskere og forkorter produksjonstiden til den strukturelle delen. Hvis man ser på total byggetid for MP2 og MP3 så var det planlagt til 36 uker for MP2 og 38 uker for MP3. Delt på antall etasjer blir den totale byggetiden da hhv. 7,2 uker og 4,7 uker for MP2 og MP3. Dette viser også at å bygge i CLT gir en klar gevinst i total byggetid når man tar hensyn til antall etasjer som bygges.

En annen fordel med CLT, og den raske monterings tiden, er at man raskt får tett bygg. I tillegg blir da alle etasjene klare samtidig til å starte innredningsarbeidet. Det kan dermed foregå uavhengige arbeider i mange etasjer samtidig, spesielt i oppstarten av innredningen før takttoget for alvor kommer inn i bygget. VDT sier at det i dette prosjektet åpnet seg en mulighet til å starte takt-toget fra toppen å gå nedover i bygget. VDT sa at den lange oppføringstiden til betong gjør det nødvendig å starte takt-toget i 1. etasje når betongen kommer til 4. etasje, for MP2 og betongbygg. Dette for å rekke å bli ferdig med innredningsarbeidene til overlevering av bygget til byggherre. Takttoget blir da å gå oppover istedenfor nedover i bygget, og følger rett bak betongarbeidene. Dette er en bakdel ved å produsere i betong og stål. Man vil dra med seg varer til toppen av bygget og betong- og tømmerfaget arbeider veldig tett på hverandre slik at det blir trangt om plassen.

En av bakdelene ved produksjonen med CLT var i dette tilfellet at varigheten på innredningsfasen for hver etasje ble nødt til å forlenges i forhold til for MP2. Selv om innredningen var planlagt å ta fire uker lengre tid ga det kun utslag i 4 uker lengre total varighet for innredningsfasen for MP3. Dette var fordi VDT opererte med en taktplan hvor aktivitetene forflyttet seg én etasje pr. uke. Kombinasjonen av at råbygget ble satt opp raskere og at forlengelsen av innredningsfasen kun ble forlenget med fire uker ser ut til å ha gitt den nevnte gevinsten til CLT for total byggetid. Det må tas forbehold om at ting i innredningsfasen kan endre seg i forhold til det som var planlagt og studert i denne oppgaven. Prosjektet var som nevnt når denne rapporten ble skrevet i oppstarten av innredningen. De diskusjoner ovenfor som går på total byggetid, og innredningsfasen spesielt, knyttes det derfor litt usikkerhet til. Det må tas forbehold om at det som er planlagt kan endre seg når det kommer til utførelsen. Man vil kunne svare bedre på dette i påfølgende masteroppgave (se kapittelet; Videre arbeid).

En annen bakdel ved å bygge med CLT i dette prosjektet var arbeidsomfanget ved dekke over kjeller for MP3. Det ble klart både gjennom intervjuer og dokumentstudiene at lastbildet fra

bærekonstruksjonen i CLT ga til dels uforutsett kompliserte betongkonstruksjoner. Alle bjelkene under dekket har nok hatt en uheldig effekt for rasjonalisering av produksjonen. Den største grunnen VDT oppga var at man mistet muligheten til å forskale større deler av dekket samtidig siden det ble brutt opp av alle bjelkene.

Miljøpåvirkning

Miljømessig ble materialfaktoren påpekt å være i favør massivtre, både av VDT og arkitekten. Sett i et globalt perspektiv bidrar trematerialer betydelig mindre til klimagassutslipp enn betong. Selv om denne masteroppgaven ikke har som formål å sammenligne CLT og betong i et miljøperspektiv er det noen hovedforskjeller som er verdt å nevne materialmessig. Dokumentstudiene viste at det til dekket over kjeller totalt gikk med 153m³ og 285m³ med betong for hhv. MP2 og MP3, og ca. 14,5 tonn og 27 tonn med armeringsstål. Dvs. at man for kjellerkonstruksjonen isolert sett fikk et negativt utslag miljømessig ved å bygge i CLT. Høyere materialforbruk resulterer dessuten også i en høyere materialkostnad. Derimot gikk det totalt sett med 933m³ betong til dekket over kjeller og de fem etasjene i MP2. Det ga en netto besparelse på 648m³ med betong og tilsvarende med armeringsstål for MP3. Tatt i betraktning at MP3 var tre etasjer høyere enn MP2 kan man si at besparelsen ble enda litt større enn om MP3 hadde blitt ført opp i betong og stål. Selv om man da samtidig kunne redusert materialmengdene i dekket over kjeller.

Rigg og drift av byggeplass

Siden VDT anså MP2 og MP3 for å være ett prosjekt ble riggområdet planlagt å være felles. VDT sa at driften på byggeplassen ble relativt likt det man ville sett om begge byggene hadde vært i betong. Forskjellen ble at tårnkranen, som man vanligvis ville hatt stående, ble tatt ned og flyttet til neste byggetrinn på Lilleby. VDT leide istedenfor inn ei mobilkran til montasjen av CLT-elementene i MP3. VDT pekte på flere grunner til at det ble slik. Først og fremst var riggområdet slik at avlastning og lagring av elementpakkene av CLT, badekabiner, gipspakker og vinduspakker var på motsatt side av bygget enn det tårnkranen stod. Det ble derfor ansett som for tunge løft for tårnkranen, eller helt i grenseland, når mange av løftene ville bli langt ute på bommen på kranen. For det andre var det i montasjeperioden innflytting og overtagelse i Maskinparken 1. Tårnkranen stod i utgangspunktet helt inntil og fundamentert i kjelleren til Maskinparken 1. Det var enda en grunn til å flytte den. I casen ble det derfor en forskjell i kranfasiliteter for det to byggene. Dette ser derimot ikke ut til å ha vært på grunn av byggematerialet, men mer pga. rigg og logistiske årsaker. Man kan jo si at det er et paradoks at

man har bygget i klimavennlig CLT, men brukt ei dieseldrevet mobilkran til montasje istedenfor ei elektrisk tårnkran.

Varetransport inn og ut av byggene tenkte VDT i utgangspunktet å utføre på samme måte, med utvendig heis i forbindelse med tradisjonelt stillas. Innvendig kunne massivtre-bygget by på noen flere utfordringer logistikkmessig. Noen flere vegger ble satt opp i CLT inne i leilighetene og det ga litt mindre tilgjengelig plass for å lagre og flytte rundt på materialer mens innredningsarbeidene pågikk. VDT sa at de utnyttet muligheten for innheising av en del varer som gips og vinduer underveis i elementmontasjen, før dekket over hver etasje ble heist på plass. I MP2, og andre betongbygg, er tre etasjer under dekket det arbeides med i stor grad båndlagt til å ha stemplingsstøtter stående. Ifølge VDT er dette helt nødvendig for å ta imot lasten fra dekkebord (dekkeforskaling), vekten av betongen og armeringsstålet før betongen i dekket herder. Dekkene er generelt i de aller fleste prosjekter i utgangspunktet ikke dimensjonert for så store nyttelaster. Det er derfor nødvendig med stemplingsstøtter i tre etasjer under. Det ga veldig lite rom for lagring av materialer til innredningen i MP2. MP3 i CLT-elementer hadde dermed den fordel ved at man hadde rom og mulighet for tidligere innheising av materialer. Dvs. at både materialene ble fjernet fra riggområdet og innredningsarbeidene ble bedre tilrettelagt.

VDT uttalte at de i innkjøpsplanleggingen for MP3 brukte en del ekstra tid på å informere leverandører om de annerledes forutsetningene på massivtre-bygget. Det ble lagt vekt på tidligere involvering for å dra nytte av eventuell leverandørkompetanse inn mot massivtre. Det å involvere leverandører tidligere enn normalt for MP3 fungerte nok også som et tiltak for å redusere risiko i produksjonsprosessen, i og med at bygging i CLT var noe nytt og ukjent også for mange av leverandørene.

Planlegging og oppfølging av produksjon

VDT la vekt på at man for MP3 hadde et helt annet nivå på planleggingen og oppfølgingen av produksjon enn for MP2. Dette var noe VDT så som helt nødvendig for å redusere risiko knyttet til produksjonsprosessen, siden CLT representerte noe nytt. Tre hovedtiltak ble gjennomført for å styrke planleggingen og oppfølgingen av produksjonen. Det første tiltaket var at prosjekteringsleder ble sittende igjen på prosjektet lengre enn vanlig og bistod formannen på tømmer med produksjonsplanleggingen. Det andre tiltaket var at formannen tidligere enn normalt kom inn i prosjekteringsprosessen og kunne starte produksjonsplanlegging. Resultatet ble bl.a. at de fikk lagt inn og planlagt plasseringen av alle gips- og vinduspakker i 3D-modellen

før produksjonen startet. VDT sa at dette ble et helt annet og høyere nivå på detaljering av produksjonsplanlegging enn det som ble gjort for MP2, og andre betongprosjekter for øvrig. Det tredje tiltaket var at VDT tok produksjonsplanleggingen med de tekniske fagene på byggeplassen på Lilleby. Tidligere tok de med seg underentreprenører og møttes utenfor byggeplassen ett par dager for å samordne og utarbeide innredningsplanen. Det ble gjort for MP2. For MP3 ble denne planleggingen gjort da elementmontasjen var ferdig for de første to etasjene. Det ga mulighet for å gå ut på byggeplassen for å se og diskutere løsninger, før de fortsatte planleggingen av rekkefølgen på innredningsarbeidene og taktplanen. I tillegg beskrev VDT at de hadde en fast mann som arbeidet sammen med leverandøren med elementmontasjen, som en slags «gratismann». Han bistod i montasjen og ledet koordineringen av innheisingen av varer med leverandøren. Det var også et uttalt mål av VDT å kunne tilegne seg kunnskap om montasje av CLT-elementer.

Det var tydelig at VDT gjorde flere tiltak for å redusere risiko knyttet til produksjon så tidlig som mulig i prosjektet. Årsaken kan nok ikke alene tilskrives at MP3 ble oppført i CLT. Inntrykket er nok heller at det var pga. at det var noe nytt og ikke nødvendigvis at det var CLT. Tiltakene krevde ekstra ressurser fra prosjektorganisasjonen. Man kan si at risikoreduksjonen hadde en kostnad i form av økt båndlegging av funksjonærtid ved prosjektet. Det har nok likevel vært viktig og med på å trygge VDT på at prosjektet var gjennomførbart.

Tap av egenarbeid

VDT ønsker i størst grad å benytte egne fagarbeidere i produksjon. Produksjon og montasje av CLT-elementene var en tjeneste som ble kjøpt inn i sin helhet. Egenarbeidene til det tradisjonelle bæresystemet i betong gikk dermed tapt for MP3. Egenarbeidene på tømmer ble påvirket mindre. VDT mente kanskje også det i sum kunne bli mer arbeid på tømmerfaget i MP3. Dette kom som følge av de prosjekterte brann- og akustikktiltakene. De medførte et behov for en god del ekstra isolering og gipsing av alle vegger inne i bygget. Mange av disse ettertiltakene inn mot brann og akustikk slipper man for betongbygg. I MP3 måtte alle vegger kles inn med steinullisolasjon og gips eller med flere lag gips. I MP2 måtte ingen betongvegger eller tak kles inn. Dette mente VDT i sum kunne føre til mer innredningsarbeid for tømmer i MP3 enn i MP2. At VDT mistet en vesentlig del av egenarbeidene ved oppføringen av bæresystemet i MP3 representerte et tap av egen verdiskaping. Å kjøpe inn en total tjeneste med prosjektering, produksjon, levering og montering av CLT ga trolig også en høyere kostnad. Leverandøren tar naturlig nok påslag for å tjene penger. VDT satte bort en stor del av risikoen til leverandøren, noe som kom med en kostnad. Siden prosjektet for VDT var for et pilot-prosjekt, var det nok

likevel hensiktsmessig og forutsigbart å kjøpe inn bæresystemet gjennom en total underentreprise. Valget med å sette montasjen bort var nok ikke pga. at bæresystemet i seg selv var i CLT, men derimot mer at det representerte noe nytt for prosjektorganisasjonen på Lilleby.

Tekniske fag

De tekniske fagene uttrykte ikke noen særlig økt oppfatning av risiko med hensyn på deres pristilbud til VDT. Dokumentstudiene viste at alle; rør, ventilasjon og elektrisitet, ga samme pris pr. m² for MP2 og MP3. VDT viste til at de tekniske installasjonene var omtrentlig helt like med bakgrunn av at plantegningene til de to byggene var så like. Det stilte de samme kravene til byggene. En forskjell for elektrikerer var at i MP2 måtte føringskanaler legges inn i vegger og dekker før de ble støpt. Det stilte derfor krav til bemanning hos elektrikerer og til samarbeid med betongproduksjonen. I MP3 var det ikke nødvendig for elektrikerer å være til stedet under montasjen, siden forhåndsslissing av føringsveier ble gjort under elementproduksjonen. For de andre tekniske fagene var det liten forskjell mellom de to byggene, og disse var ikke av betydning i prosessen før bæresystemet var ferdig montert.

Kostnadsforskjeller ved oppføring av bæresystemene

For å illustrere de største forskjellene knyttet til oppføringen av bæresystemet, er noen av de mest sentrale kostnadsforskjellene som ble funnet gjennom dokumentstudiene samlet i tabell 6.

Tabell 6: Kostnader fra produksjon

Kostnader fra produksjonsprosessen- bæresystem (NOK og (NOK/BRA))		
	Maskinparken 2	Maskinparken TRE
Betongkostnad	925` (390 NOK/BRA)	
Stålkostnad	677` (285)	
Forskalingskostnad	650` (274)	
Krankostnad, MP2	440` (185)	
Arbeidskostnad	860` (362)	
CLT-kostnad		8 700` (2296 NOK/BRA)
Montasjekostnad		3 675` (970)
Krankostnad, MP3		666` (176)
Andre kostnader: pre.fab.- trapp + rigg og drift		480` + 387` (127 + 102)
Sum hovedkostnader	3 552` (1496NOK/m²)	13 909` (3670NOK/m²)
for bæresystem:		

Kostnadsdata presentert i tabell 6 ble funnet gjennom dokumentstudiene. Dette er kostnadene som påløp totalentreprenøren i prosjektet. Med unntak av krankostnaden var kostnadene knyttet til MP3 fra leverandørens totalunderentreprisetilbud. Krankostnaden for MP3 var reell og medgått kostnad da dette var mobilkran innleid på timing. Kostnadene knyttet til MP2 ble funnet gjennom dokumentstudiene av akkordoppfølgingskjemaet og av økonomioppfølgingen. Krankostnad og kostnad til leie av forskaling var ikke eksakte påløpte verdier, men et konservativt og dyrt anslag basert på hvor stor andel av arbeidskostnaden for det totale betongarbeidet som var knyttet til MP2. Det er forutsatt at forskalings- og krankostnaden fordelte seg likt pr. medgåtte arbeidstime (arbeidskostnad). Betong-, stål- og arbeidskostnad er det som faktisk medgikk for MP2.

Kostnadssammenligningen viser tydelig at det var hovedsakelig innkjøp- og oppføringskostnaden for CLT som var vesentlig høyere enn for plasstøpt betong. Sammenlignet med studiene nevnt i kap.3.5.1. kan det se ut som CLT er vesentlig dyrere i Norge enn i de landene hvor studiene er gjort. Sannsynligvis kan deler av dette tilskrives lite tilbud og få aktører på leverandørsiden i det norske markedet. VDT sitt inntrykk var at deres leverandør hadde tilnærmet monopol på salg og distribusjon av CLT i Norge. I casen ble CLT-elementene produsert i sentral-Europa. En slik praksis er noe som vil gi store fraktkostnader og sannsynligvis en relativt høyere innkjøpspris for entreprenører i Norge. Det er med bakgrunn i dette vanskelig å si at forutsetningene for boligbygging og forholdene i Norge i 2018 er optimale for bruk av CLT i boligproduksjon. Leverandørsituasjonen i Norge gir også en grunn til å tro at de andre kostnadene, sett bort fra selve CLT-kostnaden, også ble uforholdsmessig høye i prosjektet. Ved å bruke samme lønnskostnad pr. utført arbeidstime regnet VDT med at ren arbeidskostnad for montasjen ville blitt mellom 1 300` - 1 350` NOK. Det er vesentlig lavere enn den montasjekostnaden som ble belastet VDT gjennom underentreprisen. Det skal sies at det også må regnes inn forhold som overtidsbetaling, alt av festemateriell til montasje, avanse og andre forhold i underentreprisen. Likevel er det grunn til å tro at montasjekostnaden kunne vært redusert en god del hvis VDT hadde besørget CLT-montasjen selv.

Et annet moment var kranfasilitetene ved MP2 og MP3. Tårnkranen ble brukt under produksjon av betongen i MP2. Denne krankostnaden er som nevnt her et konservativt anslag. Likevel ser man at leiekostnaden for selve kranen og lønnskostnaden til kranfører ble lavere for MP2 enn kostnaden for innleid mobilkran for MP3. Dette til tross for at både byggeperioden for bæresystemene var hhv. 13 og 8 uker og at faktisk medgåtte timeverk til produksjon og

montasje var nesten like for MP2 og MP3. Krankostnaden var i likhet med montasjekostnaden noe man med bedre planlegging ved neste prosjekt kan ha mulighet for å redusere.

Summene i tabellen er absoluttverdier. Hvis man også deler summen av hovedkostnadene på BRA (i parentes), ser man at det også var en betydelig kostnadsforskjell pr. produsert areal. Det er derfor ganske klart at for kostnaden for totalentreprenøren, for bæresystemet i MP3, har vært vesentlig høyere enn i MP2.

4.2. ERFARINGER FRA BYGGEPROSESSEN

Delkapittelet presenterer og diskuterer funnene fra case-studiet knyttet til problemstilling 2; «Hvilke erfaringer knyttes til bruk av massivtre i boligprosjekt?». Funnene for problemstillingen er delt inn i underkapitlene designprosess, prosjekteringsprosess og produksjonsprosess. Dette er de prosessene hvor VDT var sterkt involvert.

4.2.1. DESIGNPROSESS

Detaljeringsnivå

VDT anså detaljeringsnivået for å være mye høyere for massivtre-blokka enn for betongblokka, etter designprosessen. Særlig siden det forelå en fullstendig 3D-modell av massivtre-konstruksjonen fra arkitekt og RIB-MT. Det viste seg imidlertid ganske raskt i prosjekteringsprosessen at detaljeringsnivået likevel ikke var høyt nok. Flere forhold som VDT trodde var løst i designprosessen viste seg og ikke være tilstrekkelig løst. Dette gjaldt hovedsakelig usikkerheter med hensyn på brann- og akustikk-løsninger. En kompliserende faktor i massivtre-bygget var også at f.eks. tykkelsene på veggelementer endret seg oppover i bygget. Det var pga. bæreevnen til veggene. Veggtykkelsene var størst lengst ned i bygget, og avtok noe oppover. I betongbygg er veggtykkelsene normalt sett konstante oppover i bygget. Dette var et resultat fra designprosessen som gav noen ekstra utfordringer og merarbeid i prosjekteringsprosessen. Uløste brann- og akustikktekniske løsninger som måtte revideres medførte også at dimensjonene på en del av CLT-elementene endret tykkelse fra den opprinnelige RIB-modellen. Dette var noe særlig arkitekten fikk merke gjennom at de i dette prosjektet var ansvarlige for modelleringen av hele RIB-modellen, med input fra RIB-MT. Det kom i tillegg til sitt eget fagfelt. Arkitekten uttrykte at massivtreet nok hadde komplisert grensesnittene ved modelleringen av MP3, sammenlignet med det som var vanlig for betongprosjekter som MP2. Etter innsatsen i designfasen hadde hverken VDT eller arkitekten sett for seg at det kom til å bli nødvendig med en så stor grad av omprosjektering av ting som f.eks. RIB-modellen for MP3.

For betongbygg, som MP2, modellerer RIB vanligvis bæresystemet selv. Det er en tett sammenheng mellom RIB-modellen for bæresystemet i CLT og arkitektens modell, med bl.a. innervegger, påforinger o.l. Det gjorde nok at det enkleste for modelleringen var at arkitekten tok en større del. Siden dette er det første boligprosjektet i massivtre for de involverte, var det vanskelig å se for seg på forhånd hvilke problemstillinger som kunne dukke opp underveis. Når man da måtte omprosjekttere en del av arbeidet fra designprosessen resulterte det i merarbeid. I et førstegangs-prosjekt som dette vil man nok kunne oppleve at man ikke treffer helt med avklaringer rundt grensesnittene. Dette var erfaringer som vil kunne øke effektiviteten i senere design- og prosjekteringsprosesser for massivtre-bygg. Det kan også tenkes at man for MP3 så seg blind på det høyere detaljeringsnivået enn vanlig, og ikke sikret godt nok at løsningene fra designprosessen var endelig avklart.

Byggherre-erfaringer

De kostnadsdata som var tilgjengelig fra designprosessen viste at RIB, brann- og akustikkrådgiver fordyret prosessen for MP3, sammenlignet med MP2. De viste også at forskjellen i arkitektkostnadene mellom casen, MP2 og MP3, og det forrigegående og sammenlignbare byggetrinnet Maskinparken 1 var relativt små. Disse kostnadene er beskrevet i kap.4.1.1. For Maskinparken 1 måtte arkitekten som nevnt tegne om planløsninger flere runder for at leilighetene i blokka skulle treffe markedet.

Disse erfaringen viser først og fremst at designkostnaden for førstegangs massivtre-bygg er høyere enn for den tradisjonelle boligblokken i betong og stål. En annen interessant observasjon er at andre forhold potensielt kan gi like høye designkostnader som førstegangs massivtre-prosjekt. Et eksempel på dette er Maskinparken 1 sitt tilfelle med omtegning. Det viser at det ikke nødvendigvis er en automatikk i at førstegangsprosjekter blir dyrere. Man må også for betongbygg være fokusert og gjøre riktige valg for at kostnadene skal være vesentlig lavere enn for massivtre-prosjekter i fremtiden. Spesielt hvis man klarer å hente ut gevinsten som gjenbruk av løsninger utviklet i førstegangprosjekter kan gi i senere prosjekter.

Positivt med samarbeidserfaring fra tidligere

En annen nøkkelfaktor for at VDT oppfattet prosessen som rimelig strømlinjeformet var at lederen av designprosessen hadde mest erfaring innen massivtre-prosjekt. Minst like viktig var det nok også for VDT som totalentreprenør å benytte samme rådgivere som for Moholt 50|50. Spesielt for brann og akustikk. Partene kjente hverandre godt fra før, og oppstarten av designprosessen og samarbeidet i ble lettere. Et annet suksesskriterium var at arkitekten til tross

for ingen erfaring innen massivtre fra tidligere var engasjert og positivt innstilt på å løse oppgaven.

Som tiltak for å redusere risiko fra VDT sin side var det nok avgjørende å engasjere rådgivere man kjente og hadde samarbeidet godt med før. Dette til tross for at forutsetningene var annerledes i dette prosjektet, spesielt når det kom til brannkrav og krav til akustikk. På VDT virket det også som det hadde vært en medvirkende årsak til å de anså prosjektet som gjennomførbart etter designprosessen.

Erfaringer knyttet til byggherrevalg

Arkitekten så når man kom inn i prosjekteringsprosessen at det var ulike byggherrevalg som allerede var tatt i designprosessen. Dette var valg som påvirket arkitektens mulighet og handlingsrom til å skape et penest, og mest mulig estetisk vakkert bygg. Deriblant noen kvalitetsvalg av byggherren som kompliserte prosjekteringsarbeidet. Et eksempel var flis i trapp- og gangarealer, hvor det ifølge både arkitekten og VDT hadde vært enklere prosjekterings- og produksjonsmessig med f.eks. en type gulvbelegg. Underentreprenøren på elektro hadde også en klar oppfattelse av at kundeendringsprosessen kom i gang i seneste laget. Dette inntrykket ble forsterket da det etter hvert ble klart at underlaget til CLT-produsenten måtte sendes en del tidligere enn forutsett.

Siden elektroentreprenøren hadde valgt å forhåndsslisse CLT-elementene for føringsveier var det naturlig at sene kundeendringer skapte ekstraarbeid ved omtegning. Det at byggherrevalg ble tatt tidlig var naturlig i og med at leilighetene skulle ut for salg. Med tanke på at dette var et førstegangsprosjekt kunne kanskje prosjekteringsteamet trengt litt ekstra frihet til å utvikle både gode og kostnadseffektive løsninger. Byggherren kunne kanskje i større grad forhørt seg tidligere både med totalentreprenøren, arkitekten og andre. De som blir berørt av de valgene og begrensningene som settes.

4.2.2. PROSJEKTERINGSPROSESS

Gjennomføringen av prosjekteringsprosessen

Prosjekteringsprosessen for MP2 og MP3 ble gjennomført i én felles prosess, siden byggene ble regnet å være ett og samme prosjekt. Prosjektorganisasjonen brukte en egen ressursperson som prosjekteringsleder, slik de pleier i alle byggetrinn på Lilleby. I oppstarten av prosjekteringa var lederen for designprosessen for MP3 aktivt med og satte i gang prosessen. Det var et grep som kom som en følge av at et av byggene var i CLT. Det var nytt for prosjekteringsleder også, og dette grepet ble tatt for å gjøre han i stand til å styre

prosjekteringsprosessen også for MP3. Selv om prosjekteringsleder ikke hadde erfaring med massivtre fra før, var tilbakemeldingene fra de prosjekterende udelt positive til styringen av prosjekteringsprosessen. De syntes generelt at prosjekteringsprosessen i Veidekke-prosjekter har vært veldig ryddige og oversiktlige. Arkitekten mente at de prosjekterende nesten ble litt for godt vant med den gode oppfølgingen.

Selv om gjennomføringen og struktureringen av prosjekteringsprosessen ikke har var forskjellig fra et vanlig betong-prosjekt, kan nettopp dette ha vært en årsak til at det gikk relativt bra også når massivtre ble introdusert. De faste rammene og strukturen til Veidekke gjennom IP kan ha vært en viktig bidragsyter til at de prosjekterende har oppfattet prosessen som god når usikkerhet dukket opp. Erfaringsoverføringen fra design- til prosjekteringsleder var nok også vært en vesentlig faktor som bidro til en god og ryddig styring av prosjekteringsprosessen

Usikkert detaljeringsnivå fra designprosessen

Tidlig i prosjekteringsprosessen viste det seg at til tross for at detaljeringsnivået fra designprosessen var høyt for MP3, var det likevel ikke tilstrekkelig for å unngå ekstra tid og ressursbruk i prosjekteringsprosessen. Da spesielt brann og akustikkrådgivere stod for et vesentlig overforbruk av timer. VDT anslo et overforbruk på ca. 20-30%. Endringer og tillegg på underlaget fra designprosessen ble angitt som årsak. Det ble også erfart at mangelen på pre-aksepterte løsninger førte til et mer omfattende prosjekteringsarbeid for MP3 enn for MP2. De prosjekterende og rådgiverne hadde vanskelig for å anslå hvor mye ekstra tid de har måtte bruke i prosjekteringsprosessen, som følge av omprosjektering.

Grensesnittet mellom førstegangsprosjektering og omprosjektering av løsninger blir naturlig nok uklart i et førstegangsprosjekt. At man får vanskeligheter med å skille tidsbruken er forståelig når det er mange nye ting som skal prosjekteres og som henger tett sammen. Det er uten tvil veldig mange konstruksjonsdetaljer som ble prosjektert fra bunnen av. Dette var noe som førte til mer arbeid for VDT, og ikke minst for arkitekt og rådgivere. Prosjekteringa var utfordrende med tanke på å holde nede kostnadene knyttet til selve konstruksjonen og ved produksjonen. Man må muligens også påberegne at løsninger må endres etter hvert som man ser forbedringer, i førstegangsprosjekter hvor løsninger og konstruksjonsdetaljer skal prosjekteres. Det vil være vanskelig å sikre seg helt mot dette.

Arkitektens rolle

Arkitekten var den samme for MP2 og MP3, men stilte med et team bestående av én saksbehandler for hvert av de to byggene. Dette var noe VDT syntes fungerte veldig bra i prosjektet. Det ga prosjekteringsleder en enklere jobb med å administrere prosjekteringen for de to byggene. For arkitektens del var det nødvendig for å kunne ha nok fokus også på MP2 i prosjekteringsprosessen.

Tilbakemeldingene tydet generelt på at prosjekteringsprosessen ble veldig ryddig, strukturert og oversiktlig for alle de involverte. Det var trolig hensiktsmessig at arkitekten hadde en person med spesielt ansvar for MP3. Både for deres egen del, og for fremdriften av prosjekteringsprosessen som helhet. Ved å gjøre det slik vil man i større grad kunne dele prosjekteringen, selv om det er en felles prosjekteringsprosess for to bygg med ulike bæresystemer.

Samarbeidsproblemer

En stor utfordring gjennom prosjekteringsprosessen var ifølge VDT at RIB-MT ikke prioriterte, og hadde satt av for lite ressurser til å delta i prosjekteringsmøtene. Spesielt ble det problematisk når RIB-MT i tillegg var sent ute med tilbakemeldinger. Dette var et syn flere av de prosjekterende for de tekniske fag også delte. De sa at det var til stor frustrasjon at de ble nødt til å omprosjektare noe som kunne vært unngått hvis tilbakemeldingene hadde kommet tidligere. Spesielt når de var kommet langt og hadde stor ferdiggrad på modelleringen. Det førte til et tap for de prosjekterende som brukte en del unødig tid på dobbeltarbeid. Fra observasjonene i prosjekteringsmøtene ble det også klart at dette var en tilbakevendende årsak til en del forsinkelser bl.a. av tegningsleveranser fra de prosjekterende. Arkitekten følte seg spesielt berørt av dette, siden de i dette prosjektet hadde tatt på seg modelleringen av RIB-MT sitt fagområde. Prosjekteringsleder fra VDT fikk imidlertid skryt fra bl.a. arkitekten for en veldig ryddig og god håndtering av følgene av samarbeidsproblematikken.

I et førstegangsprosjekt som dette hvor man er avhengig av tett samarbeid for å utvikle nye løsninger, blir samarbeidsproblemer et stort hinder for god flyt i prosjekteringsarbeidet. Når flere av de prosjekterende og arkitekten opplevde at de mistet noe av tiden sin til f.eks. omprosjektering vil man kunne risikere at de ved senere massivtre-prosjekt vil prise prosjekteringsdelen av sine underentrepriser høyere. Dette er noe VDT som totalentreprenør kan bli skadelidende ved. Samarbeidsproblemer er riktig nok noe man alltid vil kunne oppleve i et hvert prosjekt, uavhengig av hvilket byggemateriale som benyttes. Det kan i like stor grad

være personavhengig som firmaavhengig. Det er ikke noe som massivtreet nødvendigvis må ta skylden for i casen. Følgene ble bare større når det rammet massivtre-delen av byggeprosjektet.

Uheldig med felles prosjekteringsprosess

At prosjekteringsprosessen var felles for MP2 og MP3 ga utfordringer både fokus-kapasitetsmessig for VDT. Erfaringene her var at prosjekteringa av MP3 ble prioritert foran MP2. VDT mente dette førte til at prosjekteringa for MP2 ble litt i etterkant. Dette var utfordrende inn mot produksjonsstarten siden den startet først for MP2. Tidligere enn innleveringsfristen for tegningsunderlag til CLT-produsenten. VDT oppdaget i planleggingen og oppstarten av produksjonsprosessen at dette ble en uheldig effekt av at prosjekteringsprosessen var felles for MP2 og MP3. Det viste seg at arbeidet som var lagt ned for MP2 ga litt lavere kvalitet i tegningene enn det som var tilfellet for de tidligere byggetrinnene i betong på Lilleby. Samtidig ble også tegningsunderlaget for produksjon sent ferdigstilt. Dette ga utfordringer for anleggsledelsen med hensyn på produksjonsplanlegging og innkjøp. VDT viste til at de f.eks. mistet muligheten til å undersøke priser hos flere leverandører når tiden til rådighet ble mindre. Prisene ble også noe mer usikre når tegningsunderlaget var av lavere kvalitet.

Erfaringene tilsa at en felles prosjekteringsprosess for MP2 og MP3 kanskje i størst grad ble forstyrrende for prosjekteringa av MP2. Med tanke på størrelsen på byggene er det derimot høyst usikkert om en delt og mer effektiv prosjekteringsprosess ville blitt besparende totalt sett. For totalentreprenøren VDT kunne det blitt dyrere med to fullverdige og separate prosesser. Selv om prosjekteringa for hvert av byggene kanskje kunne gått raskere. Det man riktignok i større grad kunne unngått var følgene den gjensidige påvirkningen de to byggene hadde på hverandre i prosjekteringsprosessen. For at prosessen skulle blitt mest mulig effektiv for hver av dem burde de kanskje vært uavhengige av hverandre. Underentreprenørene og VDT sa at man i produksjonen i også ville oppleve en avhengighet og bli påvirket av det tidligere byggetrinnet Maskinparken 1. Realitetene i byggebransjen er slik at entreprenørene hopper fra prosjekt til prosjekt i en kontinuerlig og overlappende prosess. Det gjør at man nesten aldri vil kunne være helt upåvirket av andre prosjekter i prosjekteringsprosessen, eller bemanningsmessig i produksjonsprosessen.

Prosjekterte løsninger på sikker side

VDT opplevde generelt at prosjekteringsgruppen ved de tekniske fag, RIB-Betong og arkitekt var interesserte og motiverte for å løse de nye utfordringene knyttet til CLT i MP3. Rådgiverne som direkte håndterte massivtre-bygget ble opplevd som litt mer tilbakeholdne og usikre. VDT og arkitekten uttrykte forståelse for det. Samtidig mente de at en del løsninger nok ble lagt vel mye på sikker side, at beslutninger satt lenger inne og at det drøyde for lenge før de ble tatt. Arkitekten mente på sin side at de savnet noe synlig massivtre inne i MP3 for å kunne vise at det var bygget i trevirke. Dette var et synspunkt VDT delte. Brannrådgiveren uttalte at han gjennom prosjekteringsprosessen følte en god del på usikkerheten rundt et norsk regelverk som han oppfattet som veldig uklart. Til tross for en litt tilbakeholdenhet på raske beslutninger, ga VDT brannrådgiveren skryt for å være løsningsorientert og innstilt på å finne produserbare løsninger.

De norske brannkravene for bygg med bæresystem i trevirke og annet brennbart materiale kan ha vært en av de største kildene til usikkerhet for MP3. Dette gjaldt både i design- og prosjekteringsprosessen. Kanskje spesielt for brannrådgiveren som den ansvarlige for brannkonseptet for MP3. At utviklingsmiljøet ble opplevd som positivt har nok vært en medvirkende faktor til at de involverte opplevde få konflikter, og istedenfor et konstruktivt og kreativt utviklingsarbeid i prosjekteringsprosessen.

Fare for feil når flere jobber med samme tegninger

CLT-elementene måtte forankres ned i betongdekket over kjeller. Til det ble forankringsplater sveiset fast til stålplater som ble støpt fast i dekket. Forankringsplatene ble skrudd fast i CLT-elementene. Stålplatene som ble støpt fast i dekket var det RIB som modellerte og tegnet. Bakgrunnen for at RIB tok den jobben i motsetning til RIB-MT, var at VDT ønsket seg alt samlet i en og samme armeringstegning. Både RIB og VDT så raskt at dette ble alt for mye informasjon på ei arbeidstegning. Løsningen ble en egen arbeidstegning for forankringsplatene. RIB sine erfaringer var at dette skapte mye ekstra arbeid som for hans del ikke var forventet. Når løsningen ble en to-tegningsløsning mente RIB at jobben burde vært gjort av RIB-MT. Bakgrunnen for dette var at det uansett var han som bestemte plassering av forankringsplatene og stålplatene, og ga input om dette til RIB.

Generelt vil faren for at feil skal oppstå øke når input og tegninger sendes frem og tilbake mellom ledd. Både arkitekt og RIB opplevde dette i prosjektet. Ideelt sett burde det nok kanskje ha vært delt mer, slik at hvert fagområde modellerte og tegnet sitt fagområdet. Samtidig så det

ut som introduksjonen av CLT ga litt nye grensesnitt mellom fag. Erfaringene fra casen bør drøftes i prosjekteringsteamet før man går i gang med prosjekteringsprosessen i et evt. fremtidig CLT-prosjekt.

4.2.3. PRODUKSJONSPROSESS

Rigg og drift av byggeplass

VDT sine erfaringer fra første del av produksjonsprosessen var at logistikken og driften av byggeplassen hadde god flyt. For MP2 sin del ble erfaringene at betongarbeidene tok lengre tid enn planlagt. Noe var på grunn av at det var vinterdrift. For dekket over kjeller var det som nevnt de store bjelkene som krevde stort fokus på gjennomføringen kvalitetsmessig. En utfordring som VDT erfarte var at det krevde stort fokus å få høy nok nøyaktighet på forankringsplatene. De var alle plassert på toppen av bjelkene. Det ble erfart at selv om forskalingene ble gjort solide var det vanskelig å helt unngå bevegelser i armeringen når betongen ble støpt. Forankringsplatene var sveiset fast i bjelkearmeringen og bevegelser var vanskelig å kontrollere når armeringen seg pga. betongtyngden. Det ga likevel relativt få og små avvik. Største vertikale avvik ble registrert til 16mm for lavt, noe VDT beskrev som et akseptabelt nivå. Det medførte heller ikke noen vesentlige ekstraarbeider.

For MP3 sin del hadde VDT et planlagt vindu pr. uke på 4,5 timer til innheising av varer i hver etasje. Grunnen til at de ikke hadde mer tid var at leverandøren skulle ha nok tid til å ferdigstille montasjen av én etasje pr. uke. VDT erfarte at dette ble i knappestet laget med tid. Konsekvensene var at åtte pakker gips stod igjen på bakken da hele bygget var reist. Det ble også alt for vanskelig å følge merkingen av varene som skulle inn i bygget. I tillegg til lite innheisingstid var en annen årsak til dette at varer ble bestilt for to og to uker og blandet ved mottak på byggeplassen. Selv om gipspakkene var merket med etasje ble innheisingen tatt mer på antall pakker til hver etasje enn hvilke pakker som skulle til hvilken etasje. VDT var imidlertid usikre på hva konsekvensene av dette ville bli i innredningsfasen. Da med hensyn til hvor mye ekstra varer som evt. måtte fraktes inn og ut av bygget pga. feil antall gipsplater i etasjene. Et bedre planlagt mottak og system for innheisingen av varer var en av erfaringene VDT satt igjen med etter montasjen av CLT-elementene. Ellers gikk montasjen med god flyt og kun en dag med kranstopp pga. dårlig vær og mye vind ble det i prosjektet.

Siden MP2 og MP3 ble regnet som ett byggetrinn/prosjekt kunne man risikere at arbeid i byggene kunne påvirke hverandre. Logistikkmessig i produksjonen gikk dette relativt greit frem til innredningsfasen. Den største utfordringen VDT erfarte var at mobilkrana til CLT-montasjen

blokkerte hovedtransportåren inn til MP2. Dette var imidlertid noe VDT kunne planlegge vareleveranser o.l. rundt, slik at disse kom på de tidspunkter da transportåren var åpen. Det førte dermed ikke til nevneverdige forsinkelser for de påbegynte innredningsarbeidene i MP2. Bemanningmessig påvirket de to byggene heller ikke hverandre negativt fram til innredningsstart i MP3. VDT og de tekniske fagene hadde tilgang på nok ressurser slik at fremdriften kunne holdes etter planen for begge byggene.

Tekniske fag

VDT brukte i prosjektet, som de beskrev, en forenklet versjon av taktplanlegging. Dette var noe de hadde benyttet på hele Lilleby-utbyggingen. Dette gjaldt først og fremst innredningsarbeidene. Leverandøren fulgte også fast takt og rekkefølge under montasjen av CLT-elementene. På forhånd var det spenning til hvordan innredningsarbeidene ville gå. Våren 2018 var arbeidene så vidt startet opp. VDT sine tidlige erfaringer fra innredningsarbeidet var at ting så delvis ut til å gå litt raskere enn planlagt. Elektrikeren brukte bl.a. mindre tid enn planlagt til sin montasje i den første etasjen de var inne i.

I oppstarten av innredningen ble det oppdaget at rørleggeren benyttet avløpsrør i plast. Dette ble problematisk med hensyn på den branntekniske prosjekteringen. Ved en evt. brann ville plastrør kunne smelte og gi ei branngate oppover i bygget slik at brannen fikk spre seg. Løsningen ble å hente inn brannrådgiver slik at man fikk gjort en ny vurdering. Resultatet ble å ettermontere rørstrupere som ved en evt. brann klemmer av røret og hindrer brannspredning.

Denne oppgaven gir ikke fullgode svar på innredningsarbeidene. Oppgaven er hovedsakelig avgrenset til og med bæresystemet. Erfaringene fra oppstarten av innredningsarbeidene er likevel interessante for å beskrive grensesnittet mellom denne oppgaven og påfølgende masteroppgave fra casen.

Kompliserte fasader

En uheldig effekt av arkitekturen til MP3 ble at VDT opplevde den som unødig komplisert i produksjonsmessig. Mellom balkongene var det fire-fem forskjellige søyleformasjoner som måtte plassbygges etter at bæresystemet var satt opp. VDT syntes de i og for seg gav et fint uttrykk på bygget, men at det på forhånd burde vært tenkt mye mer standardisering og produserbarhet. I tillegg ble vinduene satt inn i en ramme som ble bygd på utsiden av CLT-elementene. For å vindtette bygget måtte i utgangspunktet alle skjøter mellom CLT-elementene tapes med byggtape. Det at MP3 var passivhus gjorde at man ble nødt til å være enda mer nøye

med tettingen med tape. Mange hjørner og vinkler rundt bl.a. vinduene øke forbruket av tape og tidsbruken. Til sammen opplevde VDT å bruke tape til lufttetting for 313` på MP3.

Massivtre, et levende materiale

VDT var på forhånd klar over at trevirke trekker til seg fuktighet, og trodde kanskje det ville bli nødvendig med klimaskjerming av CLT-elementene under montasjen. De fikk imidlertid forsikringer fra leverandøren om at elementene var robuste og at det ikke var behov for tildekking hverken under eller etter elementene var montert. VDT sin erfaring var at CLT-elementene tørket raskt ut etter montasje og at elementene holdt seg dimensjonsstabile under uttørking. Det var imidlertid en del spenning knyttet til hvordan elementene kom til å reagere når det i innredningsfasen var planlagt å pumpe inn store mengder vann i bygget, gjennom betongen-påstøpen. VDT presiserte at betongen ikke ville være i direkte kontakt med treet, men erfaringene fra påstøp i betongbygg tilsa at luftfuktigheten i bygget ble høy før påstøpen herder. Hva denne fuktigheten vil gjøre med eksponerte tre-flater i form av bevegelser i trevirket er uvisst før innredningsfasen har kommet så langt.

Mer detaljert plantegning og taktplanlegging

Et positivt resultat av høyere detaljeringsgrad og fokus på MP3 i design- og prosjekteringsprosessen ble ifølge VDT mer detaljerte plantegninger for MP3. Dette var med på å lette planleggingsprosessen for anleggsledelsen. I tillegg til å være mer detaljerte ble plantegningene også opplevd som veldig oversiktlige. Siden CLT var nytt for anleggsledelsen var dette en viktig bidragsyter til at produksjonsplanleggingen også gikk relativt greit. VDT sin erfaring var at planleggingsmetodikken for produksjonen gjennom taktplanlegging også var en hjelpelig faktor i planleggingsprosessen. Det har nok vært et behov for å føle en hvis oversikt og struktur på det man skulle planlegge. Taktplanlegging sørget for en slik struktur og ga samtidig et kjent rammeverk å forholde seg til når noe nytt, som i dette tilfellet CLT, ble introdusert.

Knapp tid til god nok produksjonsoppfølging

Selv om formannen på tømmer tidlig i prosjekteringsprosessen ble involvert fikk VDT erfare at introduksjonen av noe nytt som CLT ble utfordrende kapasitetsmessig i forbindelse med produksjonen. Selv om man fikk anledning til å planlegge produksjonen bedre og mer grundig tidligere enn for MP2 ble behovet for kvalitetssikring gjennom å ta gjennomganger av nye aktiviteter ved oppstart større enn det man rakk på. Ved oppstarten av innredningsfasen følte

VDT at de hadde kontroll, men at oppfølgingen av produksjonen krevde mye tid. Både når det gjaldt egenproduksjon på tømmerfaget og de tekniske fagene.

Kvalitetsavvik

VDT fortalte i intervjuene at det hverken for MP2 eller MP3 hadde vært kvalitetsavvik av vesentlig størrelse. Dokumentstudiene av avviksrapporteringen i prosjektet viste at det for oppføringen av bæresystemene for MP2 og MP3 var hhv. 14 og 37 registrerte kvalitetsavvik. Det kan ha vært flere grunner til at det ble registrert flere avvik for MP3 enn for MP2. Den viktigste grunnen var nok at montasjen i sin helhet var kjøpt inn som tjeneste fra leverandøren. VDT stilte nok derfor høye krav til produktet som skulle overleveres, slik at det skulle samsvare med kontraktsbestemmelsene. VDT var da avhengig av å registrere alle avvik som de mente måtte utbedres av leverandøren. For MP2 sin del stod VDT for betongproduksjonen selv. Små avvik kunne da løses raskt på stedet, samtidig som VDT selv hadde full kontroll og anledning til å kvalitetssikre arbeidet under utførelse. Denne forskjellen kan ha vært en av grunnene til forskjellen i avviksregistreringen.

En annen medvirkende faktor var at mange elementer skulle monteres på kort tid i MP3. VDT oppga at det først og fremst var loddavvik på vegger og trapping mellom vegg- og dekkeelementer avvikene gikk på. Dette var avvik som vanskeliggjorde vindtetting med tape og ville skape problemer der gipsplater skulle monteres direkte på CLT-elementene. Tillatt loddavvik var 3%, som er vanlig for VDT. Tidspresset for å holde framdriftsplanen med en etasje i uka kan ha ført til at nøyaktigheten under montasjen ble noe redusert. Når VDT selv ikke besørget montasjen ble de prisgitt det nøyaktighetsnivået leverandørens montører fikk gjennomført.

De største avvikene i MP3 var en vegg med ei dørutsparing som ble montert inn speilvendt. VDT pekte da på at det fine med CLT var at leverandøren kunne utbedre dette ved å sage ut ny dørutsparing på korrekt sted med motorsag. Den utsagde biten kunne da plasseres inn i utsparingen som var feilplassert. Siden alle vegger skulle kles inn i gips ville det ikke synes. Det samme var tilfellet med ei dørutsparing i fire av etasjene som hadde blitt tatt ut under produksjon, men som ikke var prosjektert. Leverandøren kunne enkelt kle den igjen siden begge sider av veggen uansett skulle kles inn med gips. Slike avvik ville gitt langt mer arbeid i et betongbygg. Da ville man være nødt til å skjære ut betong, noe som ville tatt lengre tid, vært tyngre arbeid og gitt mer rengjøring i etterkant.

Til tross for at det ble registrert flere kvalitetsavvik for MP3, kan det likevel virke som CLT ikke har gitt vesentlig mer avvik av alvorligere grad. Det kan se ut som det heller var slik at VDT var mer nøye under avviksregistreringen for MP3 enn for MP2. Spesielt siden de skulle ta over et ferdig produkt med forventinger om ingen avvik og mangler. Resultatene gir derfor ikke grunnlag for å si at CLT ga vesentlig flere og større avvik enn betong i casen.

HMS-oppfølgning

Registrering av HMS-avvik ble gjennomført ukentlig i hele prosjektet gjennom vernerunder på byggeplassen. Dokumentstudiene av de ukentlige HMS-rapportene viste at det var en vesentlig forskjell i antall registrerte avvik for produksjonen og montasjen av bæresystemene i MP2 og MP3. For MP2 var det totalt registrert ca. 100 avvik og for MP3 var registrert 38 avvik. Registreringen pågikk i 13 uker for MP2 og i åtte uker for MP3. De aller fleste avvikene for begge bygg var lite alvorlige i form av at de ikke utgjorde fare for liv og helse. VDT sa i intervju at man i Veidekke har en streng HMS-standard for å unngå skader på byggeplassene sine. Det gjør at mange små avvik registreres og det settes inn tiltak for å utbedre avvikene, slik at arbeidsplassen hele tiden skal være så sikker for arbeidstakerne som mulig.

I tillegg til avviksregistreringen ble det også satt karakter for ryddigheten. Gjennomsnittet for både betongarbeidet og montasjarbeidet i hhv. MP2 og MP3 ble begge 5,8 på en skala fra en til sju. Overgangen mellom produksjon av bæresystem og innredningsfasen var flytende for begge byggene. Dvs. at det i begge byggene forgikk begge typer arbeid. Mer presist, produksjon av bæresystem og forberedende arbeid til innredningsfasen. I denne overgangsperioden ble det for tømmerfaget en gjennomsnittlig ryddighet på 4,4 og 6 for hhv. MP2 og MP3.

Det kan se ut som de to produksjonsmetodene for MP2 og MP3 gir helt ulike forutsetninger for å klare å holde god orden og ryddighet når man går over til innredningsfasen. Tatt i betraktning at CLT-montasje i utgangspunktet gir et helt tomt bygg når innredningen skal starte så var dette naturlig. I produksjonsprosessen var VDT på forhånd sikre på at arbeidsmiljøet ville bli ganske annerledes for både egne fagarbeidere og for alle underentreprenører som skulle arbeide inne i MP3. Erfaringer fra Moholt 50|50 tilsa at massivtre ga bedret luftforhold, var renere med mindre støv og var tørrere. Dette var en erfaring VDT også fikk i casen. Betongens egenskaper som material gjorde at VDT oppfattet arbeidsmiljøet i MP2 slik at det var mer støv, råere og vanskeligere å holde rent enn for MP3.

Betong er laget av sementstøv og steinmaterialer. Det vil derfor være naturlig at det gir mer støv, et tøffere klima og potensielt gir mer rot enn ferdige CLT-elementer. Man kan også

argumentere for at betongarbeid foregår i et «farligere» miljø, med opp- og utstikkende armeringsjern og betong som basisk materiale. Dette kan være en mulig forklaring på hvorfor det ble registrert så mange flere HMS-avvik for betongarbeidet enn for CLT-montasjen. En må selvsagt ta i betraktning at avviksregistreringen pågikk over en lengre periode for MP2 enn for MP3. Størrelsene på byggene og antallet avvik indikerer uansett at å bygge med CLT gir bedre forutsetninger for god HMS på byggeplassen. Dette er noe som tydelig kom til uttrykk når tømmerfaget kom inn i begge byggene. Det var tilsynelatende enklere å holde MP3 rent og ryddig enn MP2. Flere forhold kan selvsagt ha påvirket dette. Bl.a. økt fokus og ønske om å fremstille CLT som bedre enn betong og at innredningsfasen for MP2 ifølge VDT var litt på etterskudd i oppstarten. VDT sine erfaringer ved oppstarten av innredningsarbeidene i MP3 støttet indikasjonene fra dokumentstudiene.

4.3. FORBEDRING AV BYGGEPROSESSEN

Delkapittelet presenterer og diskuterer funnene fra case-studiet knyttet til problemstilling 3; «*Hvordan kan entreprenøren forbedre boligbygging i massivtre?*». Funnene for problemstillingen er delt inn i underkapitlene designprosess, prosjekteringsprosess og produksjonsprosess. Dette er de prosessene hvor VDT var sterkt involvert. Diskusjonen i kapittelet baserer seg på de erfaringer VDT gjorde seg i prosjektet frem til innredningsfasen, og de ideer VDT selv hadde til forbedringer ved fremtidige CLT-prosjekter.

VDT uttrykte i intervjuene at de erfaringer og løsninger som ble gjort og utviklet i prosjektet generelt sett ville bli viktig å ta med seg inn i fremtidige massivtre-prosjekter. Både når det gjaldt organisering og hvilke problemer man må fokusere ekstra på i design-, prosjektering- og produksjonsprosessen.

4.3.1. DESIGNPROSESS

Tidligere involvering og valg av løsninger

I designprosessen for MP3 prøvde VDT å involvere rådgivere, massivtre-leverandør og tekniske fag tidligere og mer omfattende enn hva de normalt gjør for betongbygg. Basert på erfaringene ser det likevel ut til at de kunne hatt enda større fokus på tidligere involvering, gjøre endelige avklaringer tidligere og fatte beslutninger. Man vil ved å gjøre det kunne forhindre den falske tryggheten om hvor langt man er kommet, som ble opplevd i prosjektet. I fremtidige prosjekt kan dette være viktige tiltak for å skape enda bedre flyt i den påfølgende prosjekteringsprosessen. Spesielt brann- og akustikk-løsninger mente VDT at det burde fokuseres mer på å utvikle tidligere i designprosessen. Det bør i fremtiden landes løsninger som

man ikke trenger å gå nye runder på i prosjekteringsprosessen, for å hindre unødvendig og fordyrende omprosjektering. Da både for VDT sin del og for at rådgivere og underentreprenører skal føle seg trygg på hva man går inn i ved å være med på CLT-prosjekter.

Tettere samarbeid med byggherre

Et annet forbedringspotensial kan være å forsøke å bevisstgjøre byggherre tidlig på hva deres konseptvalg har å si for prosjektering og produksjon av CLT. De erfaringer som er gjort i casen tilsa at man kanskje bør inkludere arkitekt og RIB på beslutninger for å unngå at mulighetene ved å benytte CLT ikke faller bort eller låses av byggherrevalg. Spesielt mens CLT fortsatt er et relativt ukjent byggematerial for de fleste. Så kan man etter hvert, når CLT blir mer kjent i bransjen, fase ut en slik tidlig involvering når man vet sikrere hva ulike valg vil ha og si i prosjektering og produksjon.

4.3.2. PROSJEKTERINGSPROSESS

Det var ifølge alle respondentene veldig mye bra å si om prosjekteringsprosessen som helhet. Det ble ikke foreslått vesentlige endringer av prosessen som sådan, men heller små enkeltendringer som potensielt kan bidra til å heve prosessen til å bli enda bedre.

Egen prosjekteringsprosess for bygg i CLT

VDT sine erfaringer fra prosjekteringsprosessen var at massivtre-bygget krevde mye ekstra fokus og arbeid. De mente at man med fordel ved fremtidige massivtre-prosjekter bør vurdere å ha en egen prosjekteringsprosess. Erfaringene tilsa at prosjekteringslederen og generelt prosjekteringsarbeidet ble bundet opp en del mot MP3 og at det gikk utover fokuset på MP2. VDT mente at det ville være lurt i framtiden å ha egen prosjekteringsleder og egen prosjekteringsprosess for et massivtre-bygg.

Det virker som hensiktsmessig å skille prosjekteringsprosessen når det er to ulike byggematerialer. I fremtidige prosjekt kan man da også erstatte betongbygget med ett massivtre-bygg til, slik at det blir to. På den måten kan man opprettholde størrelsen på prosjektet. Man kan da også i større grad kopiere prosjekteringsunderlaget fra det ene bygget til det andre, og sånn sett fordele prosjekteringskostnaden over flere bygg. En strammere styring av tidsbruk i prosessen var også et punkt hvor VDT mente at man kunne og burde få til en forbedring. Særlig vil dette kunne være viktig i prosjekter som i casen, hvor betongbygget mistet noe av fokuset.

Tidligere involvering av prosjekteringsleder

En annen erfaring var at det kunne være vanskelig for prosjekteringsleder å starte prosjekteringsprosessen når han/hun ikke hadde vært delaktig eller oppdatert gjennom designprosessen. Det ble tydelig for VDT i dette prosjektet pga. at det var et nytt byggesystem. En forbedring av prosessene, slik VDT så det, ville være å involvere prosjekteringsleder tidligere og tettere inn i designprosessen.

Man kan på den måten sørge for at man blir mindre avhengig av en «opplæringsfase» for prosjekteringsleder i starten av prosjekteringsprosessen. Spesielt kan dette være et nyttig tiltak hvis VDT i fremtiden vil satse på å få flere prosjekteringsledere med kunnskap om CLT. Ikke minst for å spre kunnskapen om bygging i CLT innad i organisasjonen.

Tidligere involvering av produksjon

En annen utfordring i prosjekteringsprosessen var at beslutninger og løsningsvalg ble tatt sent. For å få til byggbare løsninger ble det foreslått og i større grad involvere produksjonsdelen av prosjektorganisasjonen i prosjekteringa slik at beslutninger lettere kan tas tidligere. I casen hadde formannen på tømmer mulighet til å være med i siste delen av produksjonsprosessen.

Et grep som det med involvering av formann bør videreføres og om mulig legges enda mer vekt på i fremtidige prosjekter. De erfaringen anleggsledelsen gjorde seg bør spilles inn tidlig i prosjekteringsprosessen, slik at man kan utvikle byggbarheten til bygg i CLT tidlig.

Forplikte de prosjekterende til deltakelse

At RIB-MT ikke var til stedet i prosjekteringsmøtene, ble opplevd som en utfordring for flyten og fremdriften i prosjekteringsprosessen. I fremtidige prosjekter mente VDT at en så viktig rådgiver burde vært mer fysisk til stedet i møtevirksomheten i prosessen.

Gjennom IP vil det være mulig å stille klarere forventinger til prosjekteringsteamet. Det kan bli lettere å få de involverte til å forplikte seg til mer fysisk deltakelse i prosjekteringsmøter og til å komme med tidligere tilbakemeldinger. Generelt sett vil det kunne føre til en klarere ansvarsfordeling, og en forståelse av at de ulike fag bør ta ansvar for å sørge for at grensesnittene mellom fagene også er deres ansvar. Det vil også kunne være lurt å bruke erfaringene opplevd i prosjektet til å sørge for en mer hensiktsmessig arbeidsfordeling. F.eks. at RIB og arkitekten utførte arbeid som RIB-MT kanskje hadde hatt bedre forutsetninger for å gjøre. Men igjen, det vil være avhengig av at RIB-MT i fremtidige prosjekt er fysisk tilstede i prosjekteringsmøter.

4.3.3. PRODUKSJONSPROSESS

Både erfaringene til VDT og de tanker de hadde til forbedringspotensial i produksjonsprosessen, gir bakgrunn for å komme med forslag til hva som kan forbedres ved fremtidige CLT-prosjekt. Det er tiltak som kan være med på å utnytte potensialet til bygging i CLT og øke lønnsomheten ved bruk av CLT.

Varemottak og mellomlagring

Utfordringene ved leveransene og logistikken rundt innheisingen av varer i MP3 var et punkt som kan løses bedre. I casen kom vareleveransene annenhver uke, med varer for to etasjer i gangen. Grunnen var bl.a. at gipsplatene som skulle heises inn, måtte bestilles i et visst volum for å få de levert pre-kuttet. VDT foreslo flere alternative løsninger for å gjøre logistikken på byggeplassen enklere. For det første, kunne det vært bestilt i mindre kvanta. Bakdelen med det ville vært at transportkostnaden økte. Logistikken på byggeplassen kunne derimot blitt enklere. I tilfeller hvor riggområdet blir mindre enn i casen, kan dette være en løsning. For det andre, kunne man hatt en egen riggmann i varemottaket som hadde hatt full kontroll på leveransene under montasjen. Dette var noe VDT innførte etter at montasjen var avsluttet. Erfaringene til VDT ble da at riggområdet og logistikken på byggeplassen raskt ble forbedret og forenklet. Dette er et tiltak som man bør vurdere å videreføre til et evt. fremtidig CLT-prosjekt, da også i montasjefasen. Den tredje muligheten ble påpekt å være mellomlagring av varer. Da f.eks. i nærheten av byggeplassen. Mellomlagring kunne gitt mulighet til å bestille varer i enda større kvanta og oppnå bedre priser. Samtidig kunne det sørget for mindre lagring av varer på byggeplass. Man kunne også oppnådd større presisjon på hvilke varer som hele tiden var tilgjengelig på byggeplassen og skulle heises inn i bygget.

Benytte tårnkran

Kransituasjonen er et annet moment som kan optimaliseres bedre i fremtidige prosjekt. Gjennom dokumentstudiene ble det klart at innleid mobilkran for MP3 var dyrere enn tårnkran som ble brukt for MP2. I tillegg bemerket VDT paradokset med å benytte ei mobilkran drevet på fossilt drivstoff til montasje av klimavennlig CLT.

I fremtidige prosjekter bør man planlegge en byggeplass, eller sammenhengen mellom flere byggetrinn, slik at man kan benytte ei elektrisk drevet tårnkran bedre enn i casen. Slik at tårnkranen da kan benyttes i flere byggetrinn uten å måtte flyttes. Man vil da potensielt kunne spare kranutgifter. Dessuten vil man kunne redusere CO₂-utslippene på byggeplassen.

Mer omfattende gjennomgang av nye produksjonsaktiviteter

Erfaringene til VDT var at formannen på tømmer ble så travelt opptatt at det gikk utover kapasiteten til å gjennomføre oppstartsmøter for nye produksjonsaktiviteter. Det var et ønske om dette fra fagarbeiderne, siden usikkerheten til hvordan ting burde gjennomføres var større enn normalt pga. av det nye bæresystemet.

I fremtidige prosjekt kan man vurdere å avlaste formannen på tømmer slik at det blir anledning til å foreta tilstrekkelig med slike oppstartsmøter og gjennomganger med tømmerne. Slik avlastning kan f.eks. være at en trainee, eller andre, tar noen av arbeidsoppgavene til formannen. Det man imidlertid da må være obs på, er at man prioriterer de aktiviteten hvor det er størst risiko til kvaliteten på gjennomføringen. Man bør likevel være obs på at for utstrakt bruk av slike gjennomganger også tar av produksjonstiden. Før bygging i CLT blir bedre kjent, kan nok VDT være tjent med å prioritere slike gjennomganger, både som kvalitetssikring og i opplæringsøyemed.

Alternativ bruk av kjellerarealer

Dokumentstudiene og erfaringene til intervjurespondentene viste klart at kjellerkonstruksjonen under MP3 ikke var optimal for bruk av CLT. Det ga både ekstra prosjekteringsutfordringer og større material- og arbeidskostnader for produksjonen av dekket over kjeller enn for MP2. Både RIB og VDT pekte på at alternativ bruk av kjellerarealene under MP3, kunne ha gitt langt mindre komplisert konstruksjon. Som nevnt tidligere, var det i casen parkeringsarealer og kjøresoner under MP3.

Ved å benytte arealet under MP3 til f.eks. bodareal og andre typer rom, kunne man i større grad bygget vegger for å føre lasten ned i bunnplata i stedet for bruk av store bjelker. En annen, men mer utfordrende mulighet kan være å bygge første etasje i betong, for så å starte CLT-montasje f.o.m. andre etasje. Da vil kjelleren fortsatt kunne være parkeringsarealer, men man hadde unngått mesteparten av bjelkene. Veggene i første etasje ville da fungert som bjelker og ført lastene ut til yttervegger og inn til sjakter. Det første alternativet er kanskje det enkleste å gjennomføre, først og fremst prosjekteringsmessig. Spørsmålet man må vurdere er hvor mye man vil tjene på slike løsninger fremfor løsningen som ble valgt i MP3. Begge løsninger vil medføre mer betongarbeid enn for kjellerkonstruksjonen i MP2, men det kan være mer rasjonelt og raskere å produsere enn løsningen i MP3.

Hybridbygg og standardisering av CLT-elementer

Leverandøren av massivtre understreket at man i MP3 var nødt til å sette inn ekstra tiltak for å øke stivheten til bygget. I stedet for et bygg i kun CLT, er en hybridløsning mellom betong og CLT noe som evt. kan utforskes i en designprosess i et fremtidig CLT-prosjekt. Deler av bærekonstruksjonen kunne vært i betong eller pre-fabrikkert betong for å øke stivheten til bygget og samtidig kunne redusert kostnadene både til CLT-volum og montasje (forankring). Det kunne da f.eks. vært heis- og trappesjakter o.l. i betong.

Et annet moment VDT kunne ønske seg var at rådgiverne bidro ved å tenke mer produksjon og produserbarhet under prosjektering. VDT ga skryt til spesielt brannkonsulenten for å ha vært et foregangseksempel i prosjektet. Han var løsningsorientert og hadde fokus på å finne produserbare løsninger. Ved også å planlegge bygget og leilighetsinndelingen slik at man kunne oppnå større grad av standardisering av CLT-elementene, kunne en både forenklet montasjen. Samtidig kunne man potensielt også få redusert innkjøpskostnaden av elementene. Det er viktig å ta med seg at de erfaringene fra montasje- og innredningsarbeidene som VDT samlet gjennom prosjektet. Disse bør spilles inn i en fremtidig design- og prosjekteringsprosess. Man vil da kunne utvikle bygging i CLT videre og få løsninger som gir mer effektiv og raskere produksjon.

Et isolert CLT-prosjekt

Siden prosjektet var et av byggetrinnene i Lillebyutbyggingen, var det naturlig at det ble påvirket av det foregående byggetrinnet. VDT sin erfaring var at dette hadde mest å si for anleggsledelsen. Prosjektene kom litt på samlebånd og anleggsledelsen fikk ikke vært med på å utvikle prosjektet i prosjekteringsprosessen så mye som ønsket. VDT mente at det ville vært betydelig enklere å få til hvis det hadde vært et enkeltstående prosjekt. Det kan være en erfaring å ta med seg.

Fremtidige CLT-prosjekter bør vurderes å enten gjennomføre i enkeltstående boligprosjekter eller at det er det første byggetrinnet i en utbygging med flere byggetrinn. Det kan gi litt større rom for produksjonsapparatet til å være med på å påvirke de løsninger som velges. Det må påpekes at erfaringene fra produksjonsprosessen var at foregående byggetrinn ikke påvirket prosjektet i særlig negativ grad. VDT og underentreprenørene hadde tilgang på nok bemanning til å bemanne opp når det var behov. For fremdriften av produksjonen ser det derfor ut til at prosjektet som «en i rekken» ikke ble påvirket negativt av det.

Muligheter for egenmontasje

Dokumentstudiene viste at CLT-montasjen var en av utgiftspostene hvor potensialet for kostnadsreduksjon var størst. Dette er en post VDT kan gjøre noe med hvis de selv tar montasjen. Under montasjen på MP3 hadde VDT en tømmer som var med leverandøren for å lære. Erfaringene og tilbakemeldingene var slik at montasje absolutt burde være overkommelig også for VDT. De mente også at VDT selv hadde forutsetningene for klare å holde bedre kvalitet på montasjearbeidet. Det man imidlertid da må være klar over, ved montasje av et bygg i MP3 sin størrelse, er at CLT-leverandøren i casen arbeidet mye overtid for å holde fremdriften på én etasje pr. uke. Montasjetiden vil måtte bli lengre hvis VDT selv skal montere og holde seg innenfor normal arbeidstid. Kunnskapen om montasje er noe VDT absolutt bør bruke til å selv stå for montasjen av CLT-elementer i fremtidige prosjekter. VDT sa i intervju at dette var noe de allerede hadde gjort seg tanker om.

Spørsmålet er hvilke typer bygg VDT selv bør begynne å besørge montasjen på. Rekkehus fremstår i boligproduksjon som kanskje det enkleste alternativet. Det er noe VDT absolutt har alle forutsetninger for å klare selv etter læringen i MP3. Lavblokker i to til fire etasjer er også et alternativ. Litt mer utfordrende, men bør absolutt være overkommelig. Det kan også gi en god ballast og være et springbrett for å montere bygg i størrelsen til MP3. Å gå rett på montasje av bygg i størrelsen til MP3 ble fortsatt oppfattet av VDT som risikoforbundet, men overkommelig. Det viktige hvis VDT skal gå rett på et tilsvarende bygg som MP3, er at planleggingen og opplæringen gjøres grundig for å minimere risiko. Gjennom prosjekteringa bør som nevnt da CLT-elementene i større grad standardiseres slik at det blir færre elementtyper. Dette kan være med å lette kompleksiteten i montasjen.

Markedet for CLT i Norge

Av faktorer utenfor VDT sin kontroll er leverandørsituasjonen for CLT i Norge noe som kan nevnes. Etterhvert som bruk av massivtre og CLT øker i Norge, vil det potensielt bli flere produsenter og leverandører i det norske markedet. Flere valgmuligheter kan gi rom for å presse leverandører mer på pris enn det som var mulig i casen. Hvis det kommer flere aktører inn i markedet vil markedsbalansen i seg selv også kunne redusere innkjøpsprisen for entreprenøren. Dette er forhold VDT bør følge nøye med på i fremtiden. Flere aktører og mer lokalt norskprodusert CLT, kan både gi lavere innkjøpspriser og gi enda større CO₂-reduksjoner i boligbygging da transportutslippene vil kunne reduseres.

5. KONKLUSJON

Denne studien omfatter et byggeprosjekt som ble brukt som relevant case for oppgaveteksten og problemstillingene. Prosjektet var Maskinparken 2 og Maskinparken TRE på Lilleby i Trondheim. Veidekke Entreprenør Trøndelag førte der opp ei boligblokk i betong og stål og ei blokk i CLT på samme byggeplass. Dette kapittelet oppsummerer de viktigste funnene som besvarer masteroppgavens problemstillinger. Disse problemstillingene er:

- 1. Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plasstøpt betong, og hva er bakgrunnen for forskjellene?*
- 2. Hvilke erfaringer knyttes til bruk av massivtre i boligprosjekt?*
- 3. Hvordan kan entreprenøren forbedre boligbygging i massivtre?*

Konklusjonene som kan trekkes ut fra case-studien presenteres i hvert sitt delkapittel, ett for hver problemstilling. Disse er basert på data funnet i de første delene av prosjektet, design-, prosjektering- og produksjonsprosessen frem til oppstart av innredningsarbeidene.

5.1. FORSKJELLER VED Å BYGGE I MASSIVTRE OG BETONG

Gjennom arbeidet med å identifisere forskjellene ved å bygge i massivtre og i plasstøpt betong var det tre kategorier av forskjeller som ble funnet. De kunne kategoriseres slik:

- 1. Forskjellene var til stedet på grunn av CLT**
- 2. På grunn av at et nytt material var introdusert, men ikke nødvendigvis pga. at det var CLT**
- 3. Forskjeller som kan oppstå i ethvert prosjekt uavhengig av byggematerial.**

Forskjellene som ble presentert og diskutert i kapittel 4.1 oppsummeres i de tre kategoriene i tabell 7, på neste side. I tabellen er forskjellene sortert etter i hvilken delprosess de ble identifisert. Hver forskjell i tabellen er overskriften fra tilhørende resultat og diskusjonsdel i kapittel. 4.1.

Tabell 7: Identifiserte forskjeller mellom å bygge med CLT og betong

På grunn av CLT:	På grunn av nytt materiale, men ikke CLT eksplisitt:	Oppstår i alle typer prosjekter:
Designprosessen:		
Usikkerhet til akustikk-løsninger	Gjennomføringen av designprosessen	
Usikkerhet til brannkonseptet	Tidlig involvering av rådgivere og underentreprenører	
Prosjekteringsprosessen:		
Betongbjelker i kjelleren	Større møteomfang	
Brannteknisk prosjektering	Økt usikkerhet for rådgivere og prosjekterende	
Akustikkteknisk prosjektering		
Produksjonsprosessen:		
Ulike bæresystem	Planlegging og oppfølging av produksjon	Rigg og drift av byggeplass
Ulik byggetid	Tekniske fag	Tap av egenarbeid
Miljøpåvirkning		

Ikke alle de identifiserte forskjellene mellom å bygge i massivtre og plasstøpt betong var nødvendigvis direkte følger av bruken av CLT. En del av dem var følger av introduksjonen av et nytt material i bæresystemet, men ikke nødvendigvis unikt ved bruken av CLT. Den siste kategorien var forskjeller som er mer avhengig av andre forhold, som kan oppstå i alle typer prosjekter uavhengig av byggemateriale.

Bæresystemet i CLT var helt klart den største kimen til de identifiserte forskjellene i casen. CLT ga bl.a. flere ringvirkninger i form av mer prosjektering, større kostnader og raskere byggetid. Materialene i de to bæresystemene er biologisk og brennbar for CLT og uorganisk og ikke-brennbar for betong og stål. Det virker som det er denne hovedforskjellen som førte til mange av de identifiserte forskjellene i tabell 7. Spesielt gav det nye bæresystemet i CLT større utfordringer knyttet til akustikk, brann og det strukturelle enn for betong. Det ble gjenspeilet i kostnadsforskjellene fra både design- og prosjekteringsprosessen. Bakgrunnen for dette var at CLT var nytt i boligproduksjon og i kombinasjon med at materialet gav helt

andre forutsetninger for både akustikk og brannteknisk prosjektering. Selv om disse fagene i størst grad ble påvirket av denne forskjellen, gav det også store følger for arkitekten og totalentreprenøren i form av mye ekstra arbeid sammenlignet med for betongblokka.

Selv om det nye bæresystemet var i CLT, ble det identifisert en god del forskjeller sammenlignet med bæresystemet i betong som ikke nødvendigvis var på grunn av CLT. Det var forskjeller som i større grad var følger av at et nytt bæresystem ble tatt i bruk. Mange av forskjellene i den andre kategorien var derfor følger av totalentreprenørens tiltak for risikoreduksjon. Dette er noe som også trolig ville skjedd hvis andre nye bæresystemer hadde blitt introdusert. De fleste av disse forskjellene mellom de to byggemetodene var tiltak for å i større grad tilrettelegge for bygging med et nytt materiale i bæresystemet. I den grad de tekniske fag ble påvirket av det nye bæresystemet, var det bare i mindre grad gjennom økt usikkerhet og arbeidsforutsetninger.

Den siste kategorien var forskjeller som var resultat av omkringliggende påvirkningsfaktorer. Det kunne være tidligere byggetrinn, tilgjengelig riggområde og riggforhold og valg av underentrepriseformer fra totalentreprenørens side. Dette var forhold som ble opplevd i casen, men som i ethvert prosjekt kan variere og i mindre grad kan være følger av det valgte bæresystemet.

Det ser ut som de største og mest betydningsfulle forskjellene som ble identifisert i prosjektet var de akustikk- og branntekniske utfordringene CLT gav, samt de følger det gav for prosjektet som helhet. Det var også disse som var hovedårsakene til det store kostnadsforskjellene som ble opplevd i design- og prosjekteringsprosessen. Selve kostnaden til oppføringen av bæresystemene var nok mer et resultat av at CLT var nytt og sånn sett fortsatt relativt dyrt sammenlignet med det etablerte alternativet betong. Kostnadsforskjellene var nok også i en viss grad forbundet med en førstegangskostnad. Hvor stor andel av forskjellene denne var er usikkert, men kostnadsforskjellene vil trolig reduseres vesentlig ved gjentagende boligbygging i CLT. Da spesielt knyttet til design-, prosjekterings- og mulig produksjonskostnad.

5.2. ERFARINGER FRA BYGGEPROSESSEN

Gjennom prosjektet gjorde VDT seg mange nye erfaringer ved bruken av CLT i boligbygging. De viktigste erfaringene fra prosjektet, som ble presentert og diskutert i kapittel 4.2, oppsummeres i tabell 8. Erfaringene er listet opp i de samme tre kategoriene som i tabell 7, i kapittel 5.1. I tabellen er erfaringene sortert etter i hvilken delprosess de hovedsakelig ble gjort av VDT og prosjekteringsgruppen. Hver erfaring i tabellen er overskriften fra tilhørende resultat og diskusjonsdel i kapittel. 4.2.

Tabell 8: Erfaringer fra byggeprosessen

På grunn av CLT:	På grunn av nytt materiale, men ikke CLT eksplisitt:	Oppstår i alle typer prosjekter:
Designprosessen:		
Detaljeringsnivå	Byggherre-erfaringer	Positivt med samarbeidserfaring fra tidligere
		Erfaringer knyttet til byggherrevalg
Prosjekteringsprosessen:		
Usikkert detaljeringsnivå fra designprosessen	Gjennomføringen av prosjekteringsprosessen	Samarbeidsproblemer
Arkitektens rolle	Uheldig med felles prosjekteringsprosess	Fare for feil når flere jobber med samme tegninger
	Prosjekterte løsninger på sikker side	
Produksjonsprosessen:		
Tekniske fag	Rigg og drift av byggeplass	
Kompliserte fasader	Knapp tid til god nok produksjonsoppfølging	
Massivtre, et levende materiale	Kvalitetsavvik	
Mer detaljert plantegning og taktplanlegging		
HMS-oppfølging		

Erfaringsgrunnlaget er delvis et resultat av de identifiserte forskjellene i forrige delkapittel og andre generelle erfaringer som ble gjort i casen. Erfaringene fra prosjektet viser både positive sider og sider som har forbedringspotensial.

Fra design og prosjekteringsprosessen var erfaringene først og fremst knyttet til gjennomføringen av prosessene. Lean-hjelpemidlet, IP, som VDT bruker i sine prosjekter ser ut fra erfaringene til å ha bidratt til gode arbeidsprosesser. Det ble uttrykt at prosessene som helhet ga stabilitet i prosjektet, både av VDT og prosjekteringsteamet. Dette er noe som har vært viktig i prosjektet for å holde tråden når det nye bæresystemet i MP3 ble introdusert. De fleste erfaringene fra design- og prosjekteringsprosessen ble gjort rundt forhold som ikke hadde direkte tilknytning og var en direkte følge av massivtreet. De var mer et resultat av den økte risiko- og usikkerhetsoppfattelsen i prosjektet.

Fra produksjonen av bæresystemet var erfaringene positive med hensyn på den raske byggetiden og de mulighetene det skaper i slike prosjekter. Samtidig er det naturlig med tanke på at det var første boligprosjektet i regi av VDT at man ser forbedringspotensial på mange områder. Det er ikke før man kommer til produksjonen at man ser hovedresultatet av prosjekteringa. Både gode erfaringer og rom for forbedringspotensial for å optimalisere mer for produksjonen i fremtidige prosjekt.

Hovedsakelig var erfaringene ved byggetid, HMS og arbeidsmiljø og produksjonsflyt positive for bruken av CLT. Det var først og fremst disse erfaringene fra produksjonen og mulighetene som VDT så i forbedringspotensialet som gir stor grunn til å fortsette bruken av CLT i boligbygging.

5.3. FORBEDRING AV BYGGEPROSESSEN

Basert på erfaringene og VDT sine egne ideer til forbedringstiltak av bygging med CLT ble ulike tiltak presentert og diskutert i kapittel 4.3. Disse forbedringstiltakene oppsummeres her i tabell 9 på neste side, og er sortert for hver av de tre delprosessene. Hvert forbedringspunkt i tabellen er overskriften fra tilhørende resultat og diskusjonsdel i kapittel. 4.3.

Tabell 9: Forslag til forbedring av bygging med CLT

Designprosessen:
<ul style="list-style-type: none">• Tidligere involvering og valg av løsninger• Tettere samarbeid med byggherre

Prosjekteringsprosessen:
<ul style="list-style-type: none">• Egen prosjekteringsprosess for bygg i CLT• Tidligere involvering av prosjekteringsleder• Tidligere involvering av produksjon• Forplikte de prosjekterende til deltakelse

Produksjonsprosessen:
<ul style="list-style-type: none">• Varemottak og mellomlagring• Benytte tårnkran• Mer omfattende gjennomgang av produksjonsaktiviteter• Alternativ bruk av kjellerarealer• Hybridbygg og standardisering av CLT-elementer• Et isolert CLT-prosjekt• Muligheter for egenmontasje• Markedet for CLT i Norge

Boligbygging med massivtre, og i dette tilfellet med CLT, er i 2018 noe helt nytt for entreprenører i det norske markedet. Det er et uferdig produkt som det bør jobbes mer med i årene som kommer. Forbedringstiltakene i tabell 9 kan sammen eller enkeltvis trolig være med på å gjøre bygging med CLT mer effektivt og mer lønnsomt for totalentreprenøren i framtida. For så vidt også for andre involverte aktører.

I design- og prosjekteringsprosessene er det først og fremst tidligere involvering og tettere kobling mellom de ulike delprosessene som kan ha størst positiv effekt. Målet med en slik tidlig innsats bør være at de valg som tas og løsninger som velges så tidlig som mulig blir endelige. Dette vil både være ledd i risikoreduksjon, og således prisreduksjon for totalentreprenøren, men også for å forhindre kostbar omprosjektering. Det å få koblet inn produksjonsapparatet tidlig kan bidra til utviklingen av bedre og mer robuste løsninger som gir en mer effektiv produksjon.

Erfaringene fra produksjonsprosessen i prosjektet viste at CLT representerer en effektiv byggemetode, men at det er rom for flere forbedringer. Forbedringer som bl.a. kan gi enda mer effektiv produksjon og dermed styrke prosjektøkonomien. Den forkortede første delen av

produksjonsprosessen til bæresystemet gir nye utfordringer ved varelogistikk til og på byggeplassen. Ved å ta casen i betraktning er det her et forbedringspotensial ved å i framtiden detaljplanlegge byggeplassen, varelogistikk og produksjonsaktiviteter enda bedre på forhånd.

For å fortsette å lære den nye byggemetoden bør VDT og andre entreprenører bygge flere prosjekter med CLT for å kunne utnytte de erfaringene og det forbedringspotensialet som fortsatt ligger der uforløst. Å gjennomføre disse prosjektene i større grad som egne frittstående prosjekter og samtidig gradvis ta større deler av bl.a. montasje selv vil det kunne sette entreprenøren i stand til å gjøre boligbygging i CLT mer lønnsomt. Frittstående prosjekter kan gi entreprenøren rom for å fokusere enda mer på gjennomføringen og optimalisere for produksjon med CLT. Dermed vil dette kunne bidra til mange av forbedringspunktene som er nevnt. Det er også et viktig aspekt å ta med seg at mer bruk av CLT kan føre til mer aktivitet i leverandør-markedet, noe som også kan være med å bidra til lavere innkjøpskostnader og dermed forbedret lønnsomhet i CLT-prosjektene.

6. VIDERE ARBEID

I denne masteroppgaven har boligbygging i massivtre (CLT) og plasstøpt betong blitt studert. Oppgaven ble laget og gitt av Veidekke Entreprenør Trøndelag som hadde en tilgjengelig case på Lilleby i Trondheim. Det var derfor naturlig å avgrense studiet til ett case, prosjektet Maskinparken 2 og Maskinparken TRE. Prosjektet ble startet opp høsten 2016 med designprosessen og avsluttet produksjonsprosessen sent på høsten 2018. Siden masteroppgaven ble levert i juni 2018, ble en naturlig avgrensning av denne oppgaven å avslutte studien ved begynnelsen av innredningsarbeidene. Disse startet opp i mai 2018.

Oppgaven startet med en innledende litteraturstudie for å kartlegge «*state of the art*» innenfor bygging i massivtre. Teori som beskrev prosessene i et byggeprosjekt, risikoutvikling i byggeprosjekter og Lean-metodikken VDT bruker i sine prosjekter ble også behandlet i studiet, som forberedelse til case-studiet. Det empiriske grunnlaget i case-studiet ble innhentet gjennom 13 fokuserte semi-strukturerte intervjuer, en observasjonsstudie og en dokumentstudie. Studiet ble avgrenset til intervju med representanter fra VDT, totalentreprenøren, og 5 representanter fra rådgivere og prosjekterende fra underentreprenører.

6.1. PÅFØLGENDE MASTEROPPGAVE FRA CASE, MP2 OG MP3

Denne masteroppgaven er første del av en todeling av prosjektet MP2 og MP3. Veidekke Entreprenør Trøndelag delte prosjektet i to masteroppgaver. Årsaken til dette er at det skulle bli anledning til å gå dypt nok inn i prosjektet og ikke minst med hensyn på varigheten til prosjektet. Denne oppgaven ble levert juni 2018 av undertegnede. Neste oppgave i «rekken» ble levert ved årsskiftet 2018-2019 av Petter Halseth.

Det som ikke er behandlet i særlig grad i denne oppgaven er innredningsarbeidene, altså den mest omfangsrrike delen av produksjonsprosessen. Den påfølgende masteroppgaven fortsetter derfor der denne oppgaven er avgrenset, ved oppstart av innredningsarbeidene. Avgrensingen av denne oppgaven og start på påfølgende oppgave er gjort slik at de overlapper noe for at verdifull informasjon i grensesnittet ikke skulle gå tapt.

Undertegnede samarbeidet med Halseth om dokumentstudier av kvalitet- og HMS-rapportering. Dette er studier som følges mer opp i påfølgende oppgave. Trivselsmålinger blant tømmerne i prosjektet var også en del undertegnede startet opp og som påfølgende oppgave vil kunne benytte resultatene fra. Det forelå et foreløpig for tynt resultatgrunnlag fra trivselsmålingene for å inkludere dette i denne oppgaven. Resultatene fra denne datainnsamlingen ble videreført og behandles i påfølgende oppgave. Det var heller ikke mulig

å intervju underentreprenørene på de tekniske fag for å finne de erfaringer de hadde fra innredningsarbeidene. Det er derfor noe som påfølgende oppgave vil gjøre.

Påfølgende oppgave vil også ha mulighet til å se mer detaljert på økonomi og medgåtte mengder i produksjonen. Det er noe dette studiet har hatt liten grad av tilgang til pga. fremdriften i prosjektet. Mer detaljerte produktivitetsstudier hvor CLT og betong sammenlignes er derfor sentrale deler av påfølgende oppgave. Dette vil gjøres gjennom studie av produksjonstid og kostnad.

På grunn av avgrensingene i denne oppgaven er det vanskelig å kunne gi en oppsummering av hele byggeprosessen. Påfølgende oppgave, som har samme problemstillinger som utgangspunkt, vil være i bedre stand til å oppsummere funnene fra hele casen. En oppsummering av det som er funnet i begge masteroppgavene. Påfølgende masteroppgave vil med dette ha gode forutsetninger for helhetsvurderinger av bygging med CLT sammenlignet med betong, og foreslå helhetlige forbedringstiltak til fremtidige massivtre-prosjekter.

6.2. ANDRE AVGRENSNINGER

Det er også tema som er utenfor avgrensingene til denne masteroppgaven og som heller ikke behandles i påfølgende masteroppgave. En total miljøvurdering og sammenligning av bygging i CLT og betong, en LCA, bør gjennomføres for et slikt type prosjekt som her har vært brukt som case. En LCA vil kunne si mer presist hva miljøgevinsten av å bygge i CLT er i prosjekter som i casen.

Avgrensingene gjorde også at kun ett prosjekt ble studert. I fremtidige studier vil det være interessant å se på og sammenligne ulike typer prosjekter i CLT. Da først og fremst boligprosjekter som i casen, slik at forutsetningene blir like. Det kan da også være muligheter for å sammenligne ulike typer løsninger, f.eks. rene CLT-bygg og hybridbygg mellom CLT og andre materialer. Samtidig bør evt. fremtidige og lignende CLT-prosjekter som casen MP2 og MP3 sammenlignes opp mot studien som er gjort i denne og påfølgende oppgave for å kunne identifisere hva førstegangskostnaden i casen var.

Et siste moment som var utenfor avgrensingene i denne oppgaven er det å kartlegge hvilke erfaringer og synspunkt som finnes rundt CLT i norsk byggebransje som helhet. I denne oppgaven er dette begrenset til VDT og de aktører som var mest delaktige i casen. En kartlegging av CLT sin modenhet i norsk byggebransje er derfor noe som bør gjennomføres.

REFERANSER

- AARSTAD, K. J., GLASØ, G. & BUNKHOLT, A. 2008. Massivtre. Rev. utg. ed. Oslo: TreFokus Norsk treteknisk institutt.
- ADLER, P. A. & ADLER, P. 1994. *Handbook of qualitative research*, N. K. Denzin & Y. S. Lincoln, Thousand Oaks, Calif.: Sage.
- ARKSEY, H. & O'MALLEY, L. 2005. Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8, 19-32.
- BALLARD, G. & HOWELL, G. 1994. *Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow*.
- BALLARD, G. H. 2000. *The Last Planner System of Production Control*. Doctor og philosophy, The University of Birmingham.
- BERTELSEN, S. & KOSKELA, L. U. Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management. In: BERTELSEN, S. & FORMOSO, C. T., eds. 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2004/08/03 2004 Helsingør, Denmark. Helsingør, Denmark.
- BRANDNER, R., FLATSCHER, G., RINGHOFER, A., SCHICKHOFER, G. & THIEL, A. 2016. Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, 74, 331-351.
- BUCK, D., WANG, X., HAGMAN, O. & GUSTAFSSON, A. 2015. Comparison of different assembling techniques regarding cost, durability, and ecology - a survey of multi-layer wooden panel assembly load-bearing construction elements. *BioResources*, 10, 8378-8396.
- BØLVIKEN, T., ASLESEN, S. & KOSKELA, L. What Is a Good Plan? In: SEPPÄNEN, O., GONZÁLEZ, V. A. & ARROYO, P., eds. 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2015/07/29 2015 Perth, Australia. Perth, Australia, 93-102.
- CROWLEY, A. 1998. Construction as a manufacturing process: Lessons from the automotive industry. *Computers and Structures*, 67, 389-400.
- DAALAND, E. W., HOX, K., STEEN-HANSEN, A., BAKER, G. & ULFSNES, M. K. 2017. *Brannsikkerhet i bygg med massivtre*, National Library of Sweden, SP Fire Research AS.
- DALLAND, O. 2012. *Metode og oppgaveskriving for studenter*, Oslo, Gyldendal akademisk.
- DENZIN, N. K. 2012. Triangulation 2.0. *Journal of Mixed Methods Research*, 6, 80-88.

- EIKELAND, P. T. 1998. *SIB Rapport: Samspillet i byggeprosessen*.
- ERIKSSON, P.-E. 1995. Trästommar i flerbostadshus - erfarenheter från byggande och förvaltning. *Rapport / Trätek*.
- FINSTAD, T. 2014. *Økonomisk Lønnsomhet ved bruk av bæresystemer i massivtre*. Master thesis, Norwegian University of Life Sciences.
- FRANDSON, A., BERGHEDE, K. & TOMMELEIN, I. D. Takt-Time Planning and the Last Planner. *In: KALSAAS, B. T., KOSKELA, L. & SAURIN, T. A., eds. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2014/06/25 2014 Oslo, Norway. Oslo, Norway, 571-580.*
- FRYDENBERG, G. E., GRØNVOLD, T. & UNIVERSITETET I, A. 2012. *Evaluering av Involverende planlegging : case: Br. Reme, Veidekke*. Universitetet i Agder.
- GOLD, R. L. 1958. *Roles in Sociological Field Observations*.
- GREEN, S. D. 2011. *Lean Construction*, Oxford, UK, Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- GUSTAFSSON, A. 1998. Väggar av massivträ - teknik, ekonomi, produktion. *Rapport / Trätek*.
- HOWELL, G. A. What Is Lean Construction - 1999. 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 1999/07/26 1999 Berkeley, USA. Berkeley, USA.
- JACOBSEN, S., MAAGE, M., SMEPLASS, S., KJELLEN, K. O., SELLEVOLD, E. J., LINDGÅRD, J., CEPURITIS, R., MYRDAL, R., BJØNTEGAARD, Ø. & GEIKER, M. 2016. *Concrete Technology*, NTNU, Department of Structural Engineering.
- JACOBSEN, T. 2014. Kompedium TBA4130, Produksjonsteknikk. Institutt for bygg, anlegg og transport: NTNU.
- KALSAAS, B. T., GRINDHEIM, I. & LÆKNES, N. Integrated Planning vs. Last Planner System. *In: KALSAAS, B. T., KOSKELA, L. & SAURIN, T. A., eds. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2014/06/25 2014 Oslo, Norway. Oslo, Norway, 639-650.*
- KOSKELA, L., BALLARD, G. & TANHUANPÄÄ, V.-P. 1997. TOWARDS LEAN DESIGN MANAGEMENT. Gold Coast, Australia: iglc.net.
- KUHN, T. S. & HACKING, I. 2012. *The Structure of scientific revolutions*, Chicago, Ill., University of Chicago Press.
- KUZMAN, M. K., GROŠELJ, P., AYRILMIS, N. & ZBAŠNIK-SENEGAČNIK, M. 2013. Comparison of passive house construction types using analytic hierarchy process. *Energy and Buildings*, 64, 258-263.

- LÆDRE, O. 2014. *Kontraktstrategi for bygg- og anleggsprosjekter*, Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- MALLO, M. F. L. & ESPINOZA, O. 2016. Cross-laminated Timber vs. Concrete/Steel: Cost comparison Using a Case Study. *2016 World Conference on Timber Engineering*. Vienna, Austria: Vienna University of Technology.
- MELAND, Ø. H. 2008. Prosjekteringsledelse i byggeprosessen. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, Fakultet For Ingeniørvitenskap Og Teknologi: Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi.
- PETERSEN, A. K. & SOLBERG, B. 2005. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials. *Forest Policy and Economics*, 7, 249-259.
- SAMSET, K. 2014. *Prosjekt i tidligfasen : valg av konsept*, Bergen, Fagbokforl.
- SARDÉN, Y. 2005. *Complexity and learning in timber frame housing: the case of a solid wood pilot project*. Doctoral thesis, Luleå University of Technology.
- SINTEF-BYGGFORSK 2014. *Trehus*, SINTEF Akademisk forlag.
- SKULLESTAD, J. L. & BOHNE, R. A. 2016. Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak - En sammenliknende LCA av bæresystemer i tre og betong for bygg med varierende antall etasjer. NTNU.
- 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.
- SMITH, R. E., GRIFFIN, G., RICE, T. & HAGEHOFER-DANIELL, B. 2017. Mass timber: evaluating construction performance. *Architectural Engineering and Design Management*, 1-12.
- TJORA, A. H. 2017. *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*, Oslo, Gyldendal akademisk.
- VALMOT, O. R. 2018. Med tre skal landet bygges. *Teknisk Ukeblad*, 2, 54-57.
- VAN DE KUILEN, J. W. G., CECCOTTI, A., XIA, Z. & HE, M. Very tall wooden buildings with Cross Laminated Timber. *Procedia Engineering*, 2011. 1621-1628.
- VATNE, M. E. & DREVLAND, F. O. 2016. Taktplanlegging og -gjennomføring ved Moholt 50|50 - Case-studie. NTNU.
- WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROOS, D. & TECHNOLOGY, M. I. O. 1990. *Machine that Changed the World*, Scribner.
- YIN, R. K. 1994. *Case study research: design and methods*, Thousand Oaks, Calif, Sage.

DEL 2: IGLC-PAPER (VITENSKAPELIG ARIKKE)

LAMINATED TIMBER VERSUS ON-SITE CAST CONCRETE: A COMPARATIVE STUDY

Torstein Østnor¹, Sigbjørn Faanes², and Ola Lædre³

Abstract

Laminated timber is a relatively new construction material for multi-story buildings. With this type of structural engineered wood product, timber is glue laminated to increase its constructive strength. Laminated timber represents an opportunity to lower GHG emissions, while traditional on-site cast concrete is believed to be cheaper. The study examines differences between construction in laminated timber and cast concrete, and pros and cons associated with construction in laminated timber. The study began with a literature review. Then the construction of two neighboring apartment buildings that used Last Planner during both design and construction were studied. Takt planning was used in the production planning. Twelve interviews represent the main source of data and was supplemented with a study of documents and direct observations in design meetings. Use of laminated timber requires more resources in the design phase compared with the use of cast concrete. Fire and acoustic regulations, in particular, demand new construction guidelines. However, use of laminated timber saves time and provides a cleaner working environment during construction. Under the right circumstances, laminated timber appears to outperform on-site cast concrete. This study suggests Lean measures for contractors that want to benefit from the advantages of laminated timber and improve such construction.

Keywords

Cross Laminated Timber, Cast Concrete, Last Planner, Takt, Prefabrication

Introduction

The fifth assessment report (IPCC 2014) of the Intergovernmental Panel on Climate Change confirms with 95% certainty that global warming is caused by anthropogenic greenhouse gas emissions. It is estimated that 18% of the global CO₂ emissions are directly or indirectly generated by the building sector and is projected to increase by 50-150% by mid-century. These data highlight the need for greener materials and construction methods.

Life cycle assessments (LCAs) of the load bearing structures in mass timber and concrete buildings show that the CO₂ emissions from timber structures can be 34-84% lower than from concrete structures (Skullestad et al. 2016). A weakness in LCAs from Scandinavia is the lack of life cycle cost analyses (Petersen and Solberg 2005). Builder experience with mass timber is limited and not widely known.

Veidekke AS, one of the largest contractors in Scandinavia, has a strategy to acquire knowledge on and gain a competitive advantage by building environmentally friendly buildings. Veidekke was using both mass timber and on-site cast concrete³ to construct two apartment buildings at the same building site in Trondheim, Norway, in a comparable setting. The contractor used the Lean method Collaborative 3Planning (CP), a Last Planner adaption,

¹ Student M.Sc. Civil Engineering., Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 958 59 145, E-mail: torstein.ostnor@veidekke.no

² Project Developer/ Design Manager, Veidekke Entreprenør Trøndelag, Trondheim, Norway, E-mail: sigbjorn.faanes@veidekke.no

³ Associate Professor, Dr. Ing., Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, +47 911 89 938, E-mail: ola.ladre@ntnu.no

[Skriv her]

during design and construction. They also used Takt Planning for the construction planning. This provided a unique opportunity to research both on Lean construction and buildings in mass timber. The objective of this study was to investigate how Lean measures like Last Planner and

Takt influence the construction process when new and green materials are introduced. To answer this objective, the following three research questions were formulated:

- What are the differences between construction in cross laminated timber (CLT) and on-site cast concrete?
- What pros and cons are associated with the use of CLT?
- How can contractors improve construction with CLT?

This paper provides a short disussion of mass timber along with an introduction to the Lean methods used in the case project. Then it presents the results of the case study. These results form the basis for improvement measures for those who want to benefit from the advantages mass timber can provide.

This study was limited by the progress of the project. In the spring of 2018, the construction phase barely had begun. The scope of this paper is for that reason limited to the concept development and detailed design phase.

Theoretical background

Mass timber is a common denomination of timber elements used for loadbearing purposes, mostly in buildings (Smith et al. 2017). Mass timber elements can be assembled in several different ways, both glued and non-glued. Cross laminated timber (CLT) was found to be most cost-effective alternative considering price, durability and strength (Buck et al. 2015). Alternatives considered were laminating, nailing, stapling, screwing, stress laminating, doweling, dovetailing and wood welding. CLT elements are prefabricated with high precision in modern factory settings. Several advantages are associated with such prefabrication of CLT (Smith et al. 2017). Less material waste on the building site, element accuracy due to prefabrication, reduced on-site construction time and usage of lower quality timber in structural elements are among them. CLT consist of multi-layered panels made of construction timber (Buvk et al. 2015). The layers are arranged with the fibers perpendicular to the neighboring layer and glued together. Norwegian spruce is currently the softwood species primarily used for CLT (Brandner et al. 2016). The cross-layered structure of CLT gives a better load bearing capacity in more in more than one direction.

The ideas of Lean Production were originally developed by the Japanese car industry (Womack et al. 1990), (Howell 1999). The main concept of Lean are as follows: minimizing waste, customer orientation, product quality excellence, continuous improvement, reducing costs and flow among other elements (Howell 1999). Lean Construction is the construction industry`s adaption of Lean Production (Green 2011). *“Construction is complex production of a one-of-a-kind product undertaken mainly at the delivery point by cooperation within a multi-skilled ad-hoc team”* (Bertelsen and Koskela 2004). This unique product necessitates integration of the design and production processes.

The Last Planner System (LPS) is a Lean tool that has become popular in the construction business in Norway (Kalsaas et al. 2014), (Engebø et al. 2017). Norwegian companies often adopt the LPS and create their own adaption to fit LPS into their organizations. Veidekke has an adaption called Collaborative Planning (CP). They use it in all stages of the construction and in collaboration with the sub-contractors.

LPS has two main advantages in the design phase (Koskela et al. 1997). The design phase is made transparent while the design team are influencing, and are held more accountable for, the planning of their own work and deliveries. Activity becomes measurable for the design team. The other advantage is that goals and milestones are easier to set and measure against during the process. *“The LPS has its main focus on the planning process (how to plan)”*

(Bølviken et al. 2015). Several planning concepts also focus on the content of the plan, such as Takt Planning. In construction, Takt Planning is a method for structuring the work to be done during production (Frandsen et al. 2014).

A pilot project in Sundsvall, Sweden, identified that the lack of knowledge regarding the use of mass timber in multi-story buildings was source of resistance from sub-contractors (Sardén 2015). The project “*was a typical, transformation focused, construction project*” (Sardén 2015). The study concluded, among other things, that future mass timber project should have a Lean Construction approach and that the project manager should focus more on customer value and flow during the construction process.

Veidekke has recently constructed a large-scale student housing project, located in Trondheim, using CLT and Takt Planning (Vatne and Drevland 2016). Even though it was the first mass timber project for most of the involved parties, the main contractor found that productivity increased. Better logistics and the repetitive work were believed to be the critical success factors, when compared to the traditional production planning.

In a case study in the US, seven mass timber projects of different sizes and scopes were compared to reference projects (Smith et al. 2017). On average, the total costs for mass timber projects were 4,2% lower than the corresponding buildings, mainly in concrete. Of those seven projects, four were considered to be pilot projects. One of the most important findings was that repetition of similar projects provided improved productivity and cost control for the contractors. Another study compared the costs of alternative load bearing structures to concrete for an art center (Mallo and Espinoza 2016). The results showed that in that specific case, the cost for a load bearing system in concrete could be reduced by 21% if most of the structure were replaced by mass timber.

On average, it was found that the reduction in overall construction time was approximately 20% in the mass timber projects (Smith et al. 2017). This reduction was primarily due to the level of prefabrication of the CLT elements and a decrease in the amount of work on site. A Norwegian study found that on-site assembly was 30-40% faster for CLT elements than the typical schedule for producing the load bearing structure in concrete and steel (Finstad 2014).

Few studies have had an opportunity to compare these two construction methods using such similar surroundings as was available for this case project. By reducing other variables, we identify what differences there are between the two approaches to fill in the knowledge gap regarding these methods.

Methodology

This study started with a literature review and continued by conducting case-specific observation, interviews, and document studies. The initial literature review was on the topic “mass timber”. The aim was to map the state of the art from a project management point of view in relation to construction in mass timber. A scoping study approach (Arksey and O`Malley 2015) was used to gradually focus the review from a general scope onto previous comparison studies between mass timber and other traditional materials.

The case is an ongoing project in Trondheim, Norway. Two apartment buildings at the same construction site were studied. One building (building A) has 5 floors. It is constructed in concrete and steel, as load bearing structure. The second building (building B) has 8 floors. It is constructed in mass timber, mainly in CLT. The footprints of buildings A and B are equal, and the floorplans are approximately the same. The two buildings were designed and are being constructed by the same main contractor, Veidekke, and with the same group of sub-contractors. A previous construction phase at the site (building C) was used as a reference for building A and B for the concept development. Building C has approximately the same gross floor area and specifications as buildings A and B.

A case study method described in (Yin 1994) was used. The strength of a case study is the variation of sources of data (Yin 1994). Documenting an ongoing case such as this building project creates unique opportunities for comparison. The ongoing project provided several opportunities for collection of different types of data in a comparable setting. In this case study, three sources of data were used. A triangulation of the data from multiple sources strengthens the validity of the results (Denzin 2012). In addition, the main author had a summer internship at the case project and is now employed as a trainee in Veidekke. The 2nd author was a special advisor at the project. This insider knowledge provided access to documents as well as an understanding of who to interview. Three direct observations were conducted in design meetings. A role as a participating, but passive, observer was used as described in (Gold 1958).

As the primary source for qualitative data, five respondents from the main contractor and seven respondents from the sub-contractors, were interviewed. The interviews were semi-structured. The respondents from the primary contractor were as follows: two project developers, the project manager, the design manager and the construction manager. From the sub-contractors, the architect, the fire and acoustics consultants, and the electrical, plumbing and ventilation engineers were interviewed. The interviews were recorded and transcribed to minimize sources of error. The data from the interviews were then put in the context of the findings the study of project documents and direct observations. The document study was based on the available and relevant documents in the online project hotel of the main contractor. Economic overviews and production schedules among others were compared for the two buildings.

Since the project was still ongoing, some limitations were present. Some of the documents studied and economic overviews are not entirely complete. Regarding the production, the study is limited to what is planned. Different contract agreements made some economic comparisons difficult. The scope of the study is also limited to the most essential consultants and sub-contractors in addition to the main contractor.

Results and discussion

Differences in concept development and detailed design

In this case, the buildings are constructed over a shared parking garage located in the basement. The structural engineer estimated that it took triple the time to complete the design of the concrete ground floor in building B than for building A, primarily because the CLT elements lacked the ability to distribute the vertical loads horizontally in the load bearing walls. This characteristic of CLT resulted in the need to add **large concrete beams** under the ground floor. In addition, the CLT-elements needed to be anchored to the concrete slab at the ground floor. Over one hundred steel plates for anchoring had to be modelled and drawn in separate drawings and cast into the concrete slab. For contractors who want to benefit from the advantages of CLT, an optimized basement design is feasible. However, a way to acquire knowledge on new materials is by conducting pilot projects. The large beams became an unexpected challenge for the technical infrastructure in the basement and led to extra design work.

The difference between the time and design required for building B versus A seems to be a direct effect of the use of mass timber in building B. An alternative use of the basement space may have made this difference smaller. Optimizing the basement for mass timber could potentially eliminate most of the extra challenges experienced in this project.

The two main issues influencing both design and planned production evidently were **fire** and acoustic-related **challenges**. The timber material is flammable, while concrete is not. This difference results in stricter requirements for fire engineering in Norway for CLT construction. A combination of limited knowledge and a lack of available pre-accepted solutions for CLT construction in apartment buildings, developing techniques to accommodate CLT has provided

challenges and required extra time of the fire consultant during concept development and detailed design. Once standard approaches are developed using CLT, the need for extra time to develop fire-related solutions is likely to decrease.

The reduced internal mass of the building when switching from concrete to CLT has also posed **acoustic challenges**. Noise reduction requirements between apartments are the same regardless of the materials used. The lack of construction approaches for buildings using CLT was evident during the design phase. The acoustic consultant estimated an increase of up to 100% more time spent to develop details for building B than usual.

The architect and the main contractor emphasized the combined effect of the fire and acoustic challenges. Because both had limited experience with CLT in apartment buildings, their engineered solutions were cautious to make sure the requirements are met. As a result, construction details were developed that made the planning of the furnishing work by the order of the work packages more complicated in the takt plan. Hence, the takt plan was different for the two buildings. The same crew was planned to work through both buildings in a takt train. The new solutions and details necessitated a second takt plan with more work packages. It also led to a significant increase in the assembly of fire plasterboards compared to the concrete counterpart, requiring a greater proportion of simple assembly work planned for building B compared to building A.

In traditional concrete buildings, the concrete walls often have the same dimensions on all floors. In the mass timber building, the **dimensions of the CLT elements** decrease up through the floors. This difference has led to increased work for several parties during detailed design. The apartments, which essentially should be equal, have some variations due to the CLT-elements.

The possibility for labour saving copying of work in the BIM-model decreases when the dimensions are changing. This variation has led to more time spent to adjust the BIM-model for building B. It was an effect that was hard to mitigate when the main contractor also wanted to limit the CLT-volume to reduce costs. In building A, more copying was possible, placing a greater burden on the architect for building B. In addition, the electrical engineer expressed inconvenience for placing of electrical components in the BIM-model.

The main contractor expected **improved HSE** for the mass timber building. Previous experience from a student housing project using CLT by the main contractor Veidekke indicated significantly improved noise and dust conditions.

These factors are believed to generate improved productivity and earnings for the contractor in the short term but can also be significant for the long term. Worker health is important to any contractor to maintain productivity rates long term.

In general, all the respondents expressed an **increased level of uncertainty** related to the mass timber building, mostly related to the lack of experience and pre-developed solutions. The respondents had experienced this kind of uncertainty previously when new construction methods and materials were introduced. Some of the parties had taken precautions and expected greater time consumption in the design phase but unexpected challenges occurred. Most of them were believed solved during concept development but had to be revised during the detailed design phase. In addition, the architect was assigned several unexpected tasks. This type of uncertainty seems not to be unique for mass timber projects but instead can be expected when other new materials and methods are introduced.

Involvement in the concept development in this project was more extensive than usual both a measure for risk control and because the main contractor needed to develop **new construction details** for the CLT option. The main contractor also engaged one additional in-house resource with experience on CLT during the development phase.

Both the concept development and the detailed design were carried out using the same methodical approach, CP. **Early involvement through CP** may have lowered the perception

of risk concerning building B. Also, the early development of many of the main features of building B seem to have positively affected the perception of risk in the project.

All the respondents concur and were satisfied with the **implementation of the design process**. The main difference for them was an increased number of special design meetings. Held in addition to the main design meetings, these meetings were where special topics were worked through by the relevant parties. Since the process was common for both buildings, some conflicts occurred. Challenges in one building influenced the progress of the other. These delays affected both buildings, but the respondents felt it was most problematic when the concrete building influenced the mass timber building, especially because the level of uncertainty was higher concerning the CLT.

Observations also confirmed that up to 2/3 of the time in the design meetings was used for building B, possibly resulting in some level of neglect for building A. Overall, the process with CP seemed to result in a relative smoothly implementation of both phases.

The total construction time from the ground floor to move-in ready for building B were scheduled for 38 weeks and for building A, 42 weeks. The assembly of the CLT elements was scheduled at 8 weeks for building B. The construction of the concrete and steel was scheduled to take 13 weeks for building A. The detailed design period was the same for the two buildings since it was one common process and consisted of 13 design meetings over a period of 26 weeks. The furnishing phase, however, was scheduled for 19 weeks for each floor in building A and for 23 weeks in building B. Even though the furnishing phase had a longer duration, the CLT was advantageous when it came to total construction time when taken in to consideration that building A is 5 floor and B, 8 floors.

Some **cooperation issues** occurred during the detailed design phase. The structural engineer for the mass timber was not present in any of the design meetings. Several in the design team pointed this out as problematic, especially the architect, who usually cooperates closely with the structural engineer, found it difficult to facilitate the cooperation. Feedback was also late, which on several occasions resulted in having to redraw, thereby slowing down the design process for the architect and sub-contractors. In hindsight, the CP could have been stricter on committing the structural engineer.

The observations confirmed several obstacles for good flow in design meetings caused by the mentioned issue. To get a good flow through the design process the main contractor depends on reliable consultants and sub-contractors. The issue had also been experienced in other projects by the respondents.

A general challenge in projects is **builder choices**. In this case, limitations created by early decisions from the builder also created constraints, complicating the development of solutions and construction details. Such challenges also occur when using traditional concrete, but the implications are greater when new main materials are introduced.

The mass timber contractor was a turnkey contractor, who delivered and assembled the CLT elements. For the concrete counterpart, the main contractor performed the load bearing structure construction. This difference led to a **loss of own value creation** for the main contractor. If the contractors were to acquire the assembly skills, this loss could be reduced or eliminated.

Cost differences in concept development and detailed design

The case project had 7% higher total cost during concept development than building C, mainly due to a higher architect cost. The builder was surprised it was not more significant difference. For building C, it had been necessary to redraw the floorplans to accommodate the housing market, leading to higher costs. The case project was built on sensitive clay and it is worth mentioning that there was a 50% reduction in the costs for geotechnical consultants in the case project compared to building C. The reduced weight of building B was the main reason for the savings. For building A and B, costs for the architect, fire and acoustic consultants, and the

structural engineer were different. The cost differences for the structural engineering, fire consultant and acoustic consultant in the concept development are shown in table 1. Other consultant costs were approximately the same.

Table 1- Key figures, cost data from the concept development

Costs for concept development (NOK):		
	Building A	Building B
Structural engineer	80'	165'
Fire consultant	42'	260'
Acoustic consultant	42'	46'

During detailed design, mainly the costs for the architect, fire and acoustic consultants, and the structural engineer were greater for building B. Other consultant costs were similar during concept development phase: when adjusted for gross floor area.

Table 2- Key figures, cost data from the detailed design

Costs for detailed design (NOK/m²):		
	Building A	Building B
Architect	218	260
Structural engineer	95	101
Fire consultant	21	42
Acoustic consultant	32	55

These increased costs during concept development and detailed design were with great certainty mostly attributable to the use of mass timber. The main contractor likely will be able to reduce these if more buildings were to be constructed using CLT in the future.

Conclusions

The objective of this study was to investigate how lean measures like Last Planner and Takt influence the construction process when new and green materials are introduced. To answer this objective, three research questions were formulated:

- What are the differences between construction in cross laminated timber (CLT) and on-site cast concrete?
- What pros and cons are associated with the use of CLT?
- How can contractors improve construction with CLT?

Three categories of differences between construction in CLT and on-site cast concrete were identified by the respondents in this study, listed in Table 3.

Table 3- Experienced differences when constructing in CLT versus cast concrete

Due to mass timber:	Due to new material, not mass timber explicitly:	Occurring in any type of project:
Enlarged concrete beams in the basement	Level of uncertainty in concept development and detailed design	Cooperation issues
Development of acoustic solutions	Development of new construction details	Builder choices
Development of fire solutions	Early involvement of sub-contractors and consultants using CP	Decreased value creation for the main contractor
Dimensions of CLT-elements	Implementation of the design process	
Improved HSE during production	Shortened construction time	

Acoustic, fire and structural challenges related to the use of CLT caused extra work during concept development and detailed design. The architect and the main contractor were the most influenced parties. The costs for building B can most likely be reduced if the main contractor reuses the developed solutions in future projects.

The CLT-elements represent an advantageous construction method. Reduced construction time and the accuracy of the elements due to prefabrication are the most significant benefits. Reduced material waste at the building site, improved HSE and reduced CO₂ emissions are among the sustainability benefits for contractors. The main drawbacks with CLT in this case is the loss of work that can be carried out with in-house capacity and an increased design cost. Production costs were not included in this study.

When it comes to how contractors can improve construction with CLT, Lean tools such as Last Planner and Takt proved advantageous in the studied pilot project. With higher uncertainty arises the need for increased planning for the unforeseen. These tools provided the stability needed for tackling the uncertainty that entailed the introduction of a new and green material as CLT. Early involvement through CP may have lowered the sub-contractor's perception of risk concerning building B. To get a good flow through the design process, the main contractor depended on reliable consultants and sub-contractors. CP and Takt can be used to secure this reliability, and these tools may have influenced the outcome more than the respondents have realized so far.

References

- Arksey, H., and O'Malley, L. (2005). "Scoping studies: towards a methodological framework." *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19-32.
- Bertelsen, S., and Koskela, L. u. (2004). "Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management." *Proc., 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*Helsingør, Denmark.
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., and Thiel, A. (2016). "Cross laminated timber (CLT): overview and development." *European Journal of Wood and Wood Products*, 74(3), 331-351.
- Buck, D., Wang, X., Hagman, O., and Gustafsson, A. (2015). "Comparison of different assembling techniques regarding cost, durability, and ecology - a survey of multi-layer wooden panel assembly load-bearing construction elements." *BioResources*, 10(4), 8378-8396.
- Bølviken, T., Aslesen, S., and Koskela, L. (2015). "What Is a Good Plan?" *Proc., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*Perth, Australia, 93-102.
- Denzin, N. K. (2012). "Triangulation 2.0." *Journal of Mixed Methods Research*, 6(2), 80-88.
- Engebø, A., Drevland, F., Lohne, J., Shkmot, N., and Lædre, O. (2017). "Geographical Distribution of Interest and Publications on Lean Construction." *Proc., 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*Heraklion, Greece, 285-292.
- Finstad, T. (2014). "Økonomisk Lønnsomhet ved bruk av bæresystemer i massivtre." Master thesis, Norwegian University of Life Sciences.
- Fransson, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. (2014). "Takt-Time Planning and the Last Planner." *Proc., 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*Oslo, Norway, 571-580.
- Gold, R. L. (1958). "Roles in Sociological Field Observations." *Social Forces*, 36(3), 217-223.
- Green, S. D. (2011). *Lean Construction*, Oxford, UK: Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Howell, G. A. "What Is Lean Construction - 1999." *Proc., 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*Berkeley, USA.
- IPCC (2014). "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change." *Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S.

- Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, and J. C. Minz, eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Kalsaas, B. T., Grindheim, I., and Læknes, N. (2014). "Integrated Planning vs. Last Planner System." *Proc., 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction* Oslo, Norway, 639-650.
- Koskela, L., Ballard, G., and Tanhuanpää, V.-P. (1997). "Towards Lean Design Management." *Proc., 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* Gold Coast, Australia.
- Mallo, M. F. L., and Espinoza, O. (2016). "Cross-laminated Timber vs. Concrete/Steel: Cost comparison Using a Case Study." *2016 World Conference on Timber Engineering*, Vienna University of Technology, Vienna, Austria.
- Petersen, A. K., and Solberg, B. (2005). "Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials." *Forest Policy and Economics*, 7(3), 249-259.
- Sardén, Y. (2005). "Complexity and learning in timber frame housing: the case of a solid wood pilot project." Doctoral thesis, Luleå University of Technology.
- Skullestad, J. L., Bohne, R. A., and 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.
- Smith, R. E., Griffin, G., Rice, T., and Hagehofer-Daniell, B. (2017). "Mass timber: evaluating construction performance." *Architectural Engineering and Design Management*, 1-12.
- Vatne, M. E., and Drevland, F. (2016) "Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study." *Proc., 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* Boston, USA.
- Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D., and Technology, M. I. o. (1990). *Machine that Changed the World*, Scribner.
- Yin, R. K. (1994). *Case study research: design and methods*, Sage, Thousand Oaks, Calif.

DEL 3: VEDLEGG

[Skriv her]

VEDLEGG 1, SØKEMATRISE

Forfatter(e)	Relevant tittel og abstract	Søkeord/-frase	Søkemotor	Type publikasjon	Publiseringssted	Publiseringsår	Sitert av	Field-Weighted Citation Impact (Scopus)
(Finstad, 2014)	Økonomisk Lønnsomhet ved bruk av bæresystemer i massivtre	Massivtre	Oria og Google Scholar	Masteroppgave	NMBU (Norwegian University og Life Science)	2016	0	
(Skullestad and Bohne, 2016)	Bygging av høyhus I tre som et klimatiltak- En sammenlignende LCA av bæresystemer I tre og betong for bygg med varierende antall etasjer	Massivtre	Oria, Google Scholar og Scopus	Masteroppgave	NTNU Open/ Energy Procedia	2016	0/1 (Google Scholar)	0 (Scopus)
(Vatne and Drevland, 2016)	Taktplanlegging og -gjennomføring ved Moholt 50-50 -Case-studie	Massivtre	Google Scholar	Masteroppgave	NTNU Open	2016	0	
(Buck et al., 2015)	Comparison of Different Assembling Techniques Regarding Cost, Durability, and Ecology - A Survey of Multi-layer Wooden Panel Assembly Load-Bearing Construction Elements	Massivtre og "cross laminated timber" AN D cost	Oria, Google Scholar og scopus	Artikkel	BioResources (Peer-reviewed)	2015	0/1 (Google scholar)	

(Håkansson et al., 2016)	Cityförskolan - En förskola i massivträ: Framtagning av konstruktion samt ekonomisk jämförelse	Massivträ og ““solid wood” AND concrete” og “ "solid wood" AND concrete AND comparison”	Oria og Google Scholar	Bacheloroppgave	Publisert ved Karlstads Universitet	2016	0	
(Afshar et al., 2016)	Jämförelser mellan massivträ- och betongstommar i flerbostadshus	Massivträ og ““solid wood” AND concrete” og “ "solid wood" AND concrete AND comparison”	Oria og Google Scholar	Bacheloroppgave	Publisert ved Kungliga Tekniska Högskolan	2016	0	
(Sardén, 2005)	Complexity and learning in timber frame housing: the case of a solid wood pilot project	“solid wood” AND concrete	Oria	Doktoravhandling	Publisert ved Luleå University of Technology	2005	0	
(Kuzman et al., 2013)	Comparison of passive house construction types using analytic hierarchy process	“solid wood” AND concrete og “"solid wood" AND concrete AND comparison”	Oria, Scopus og web of Science	Artikkel	Energy and Buildings	2013	21 (Scopus)	4,25 (Scopus)

[Skriv her]

(Petersen and Solberg, 2005)	Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden	“solid wood” AND concrete og “solid wood” AND concrete AND economy”	Google Scholar og scopus	Artikkel	Forest Policy and Economics	2005	97 (Scopus)	3,61 (Scopus)
(Van De Kuilen et al., 2011)	Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber	“cross laminated timber” og "cross laminated timber" AND concrete AND differences	Google Scholar, scopus og web of science	Artikkel	Procedia Engineering	2011	19 (Scopus)	6,98 (Scopus)
(Smith et al., 2017)	Mass timber: evaluating construction performance	TIPS: “Mass timber” AND construction performance	Scopus	Artikkel	Architectural Engineering and Design Management	2017	0	

VEDLEGG 2, SØKEMOTORER

Søkemotor	Om søkemotoren og evaluering
Oria	Oria er en felles portal som gir tilgang til det samlede materialet som finnes ved de fleste norske fag- og forskningsbibliotek (BIBSYS, 2018). NTNU Universitetsbibliotek er en av disse. I tillegg er det tilgang til mye elektronisk materiale fra åpne kilder. Dette gir søkeren tilgang til store mengder bøker, e-bøker, tidsskrifter, dokumenter, artikler, musikk og filmer (VIKO, 2018). Dette er søkemotoren som ble introdusert og gitt kurs i ved faget Eksperter i Team våren 2017. Oria er en søkemotor med mange muligheter for begrensninger av søket. Det er lett å rote seg bort i alle mulighetene, og i dette søket ble det bestemt å følge en enkel linje, med få variasjoner av boolske operatører. Dette for å redusere risiko for å miste relevant litteratur på veien, og for å lettere se hvilke søkekombinasjoner som ga resultater.
Google Scholar	Google Scholar er en søkemotor hvor man kan søke etter artikler, avhandlinger, sammendrag o.l. NTNU Universitetsbibliotekets samlinger er søkbart for studenter og ansatte ved NTNU (VIKO, 2018). En stor bakdel med Google Scholar er at søkerresultatene rangeres etter en relevans Google mener er riktig. Denne relevansbedømmelsen i Google og Google Scholar er en svakhet. Ved søk i Google Scholar oppleves det at en får veldig mange treff, ofte selv om søkefrasen er spesifikk. Dette gjør arbeidet med å finne relevant litteratur vanskelig, og det er vanskelig å stole på relevans- vurderingen til motoren.
Scopus	Scopus er den største abstract og siteringsdatabasen av fagfelleverdert litteratur innen vitenskaplige tidsskrift, bøker og konferanseartikler (Elsevier, 2018). Denne databasen tilbyr troverdig litteratur innen vitenskapen, teknologi, medisin, sosialvitenskap og kunst da den er fagfelleverdert. Det er relativt enkelt å finne relevant litteratur gjennom søk i Scopus. Litteraturen er ofte sitert av andre og sorteringen etter relevans, med hensyn på søkefrasen, er god i Scopus. Det er også lett å se hvor litteraturen er sitert, og hvor innflytelsesrik litteraturen vurderes å være.
Web of Science	Web of Science gir tilgang til den mest troverdige, integrerte tverrfaglige forskningen (Web of Knowledge, 2018). Databasen har en streng evalueringsprosess av kilder, slik at man kan være sikker på at det mest innflytelsesrike, relevante og troverdige informasjonen finnes i databasen. Det er relativt enkelt å få gode og relevante treff i Web of Science, forutsatt at det finnes litteratur som inneholder søkefrasen. Det er også litteratur som ofte er sitert hyppig, og sånn sett oppleves litteraturen som god.

BIBSYS. 2018. *Oria- søketjeneste* [Online]. bibsys.no. Available:

<http://www.bibsys.no/produkter-tjenester/tjenester/soketjenesten-oria/>

ELSEVIER. 2018. *Scopus* [Online]. elsevier.com. Available:

<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>

VIKO. 2018. *Finne Kilder* [Online]. innsida.ntnu.no. Available: [https://innsida.ntnu.no/wiki/-](https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Google+Scholar)

[/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Google+Scholar](https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder#section-Finne+kilder-Google+Scholar)

WEB OF KNOWLEDGE. 2018. *Web og Science* [Online]. Available:

<https://login.webofknowledge.com/>

[Skriv her]

VEDLEGG 3, INTERVJUGUIDER

INTRODUKSJON

Mitt navn er Torstein Østnor. Jeg er masterstudent ved institutt for Bygg- og miljøteknikk, ved NTNU. Jeg skal våren 2018 gjennomføre masteroppgave, hvor jeg skal se på forskjeller mellom å bygge boligblokk i massivtre og i plasstøpt betong og stål.

I masteroppgaven skal jeg kartlegge hvilke forskjeller mellom de to byggemetodene det er i casen Maskinparken 2 og Maskinparken TRE, på Lilleby i Trondheim. Jeg skal også finne ut hvilke erfaringer som gjøres i casen. Basert på dette er målet å komme med forbedringstiltak til fremtidige massivtre-prosjekter. I forbindelse med oppgaven er jeg interessert i å høre dine synspunkter om casen. I tillegg til informasjon fra intervju vil datagrunnlaget for å besvare problemstillingene bestå av observasjoner i prosjekteringsmøter og dokumentstudier i casen.

Masteroppgave blir utarbeidet under veiledning av Ola Lædre ved Institutt for Bygg og Miljøteknikk på NTNU. Oppgaven vil følge casen Maskinparken 2 og TRE, et boligprosjekt i regi av Veidekke Entreprenør Trondheim. Sigbjørn Fånes vil være Veidekkes veileder på prosjektet.

I arbeidet med prosjektoppgaven er følgende intervjuguider utarbeidet i samråd med Ola Lædre.:

Kommentar:

Intervjuguiden er utarbeidet for å besvare problemstillingene under. Dette er problemstillingene som i skal brukes i prosjekt- og masteroppgave høsten 2017 og våren 2018. Oppgaven tar for seg forskjellene ved å bygge i massivtre og i betong/stål. Masteroppgaven vil ha mest fokus på design og prosjekteringsprosessene, og vil rette fokus mot første del av produksjonsprosessen,

Problemstillinger:

4. *Hvilke forskjeller er det ved å bygge i massivtre og plasstøpt betong, og hva er bakgrunnen for forskjellene?*
5. *Hvilke erfaringer knyttes til bruk av massivtre i boligprosjekt?*
6. *Hvordan kan entreprenøren forbedre boligbygging i massivtre?*

(Det er ønskelig å ta lydopptak fra intervju, slik at det kan transkriberes. Det transkriberte intervjuet vil bli oversendt for gjennomlesning og mulighet for tilbakemeldinger)

INTERVJUGUIDE 1

Intervju med representanter fra Veidekke Entreprenør

Generelt om prosjektet		
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
I.	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan har VDT fått dette prosjektet i ordreboken?<ul style="list-style-type: none">○ Hvilken rolle har VDT i prosjektet, i både prosjektering og produksjon?	
II.	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan er risiko håndtert i kalkulasjonen av MP2 og TRE?	
III.	<ul style="list-style-type: none">• Ble andre alternativer enn et fullverdig massivtrebygg vurdert i designprosessen?<ul style="list-style-type: none">○ Hva var grunnen til at det ble, eller ikke ble, vurdert?	
IV.	<ul style="list-style-type: none">• Er det andre konseptuelle forskjeller mellom MP2 og MP TRE enn valget av bæresystem?<ul style="list-style-type: none">○ Er det forskjeller i planløsninger, etasjeantall eller andre ting?	
V.	<ul style="list-style-type: none">• Er prosjektorganisasjonen til VDT rigget annerledes i dette prosjektet enn i andre prosjekter?<ul style="list-style-type: none">○ F.eks mtp. Bemanning og erfaring fra tidligere massivtreprosjekt?	
VI.	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan er rådgivere/UE (tekniske fag) kontrahert i dette prosjektet?<ul style="list-style-type: none">○ Har rådgiverkostnaden for MP TRE blitt høyere eller lavere enn for MP2, og andre betong/stål-prosjekter?	

Del A: Designprosessen		
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
A1.1	<ul style="list-style-type: none">• Ble designprosessen gjennomført annerledes for MP TRE enn for MP2 eller andre prosjekter, og da evt. på hvilken måte?	
A1.2	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke forskjeller var det mellom MP2 og MP TRE i gjennomføringen av designprosessen?<ul style="list-style-type: none">○ Hva var grunnen til forskjellene?	
A1.3	<ul style="list-style-type: none">• Hva ble det fokusert mer på for MP TRE enn for MP2?<ul style="list-style-type: none">○ Ble det fokusert mer på andre ting i MP2, evt. hva?	
A1.4	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan var involveringen av ulike aktører (f.eks. brann, lyd, energi, andre) i designprosessen for MP TRE i forhold til MP2?	
A1.5	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan var detaljeringsnivået for MP TRE i forhold til MP2 (evt. andre betongprosjekter)?	
A2.1	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan vil du si tid- og ressursbruken i designprosessen fordelte seg mellom MP2 og MP TRE?	

[Skriv her]

A2.2	<ul style="list-style-type: none">• Har det vært større fokus på kunnskaps- og erfaringsinnhenting i designprosessen i dette prosjektet enn i andre prosjekter?<ul style="list-style-type: none">○ Hvilke erfaringer dro dere nytte av inn i dette prosjektet?	
A2.3	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke erfaringer sitter VDT igjen med etter designprosessen for MP TRE og MP2?	
A3.1	<ul style="list-style-type: none">• Hva ville du gjort for å forbedre designprosessen i kommende massivtreprosjekter?	
	<ul style="list-style-type: none">• Er det andre forskjeller mellom MP2 og MP TRE du vil trekke fram fra designprosessen?	
Del B: Prosjekteringsprosessen		
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
B1.1	<ul style="list-style-type: none">• Ble prosjekteringsprosessen organisert annerledes for dette prosjektet enn for andre prosjekter, og da evt. på hvilken måte og hvorfor?	
B1.2	<ul style="list-style-type: none">• Har det vært forskjell i tids- og ressursbruk til prosjekteringsmøter for MP2 og MP TRE<ul style="list-style-type: none">○ Hvordan har ressursbruken på prosjekteringsmøter vært i forhold til andre prosjekter (f.eks. Lilleby-prosjekter)?○ Hvorfor har det evt. vært forskjellig?	
B1.3	<ul style="list-style-type: none">• I prosjekteringsmøter, har større andel av tiden blitt brukt på saker knyttet til MP TRE enn MP2?<ul style="list-style-type: none">○ Hva er grunnene til det, og hvilke områder kan tidsbruken ofte knyttes til?	
B1.4	<ul style="list-style-type: none">• Har det vært ulik mengde og bruk av særmøter for MP2 og MP TRE, og hvorfor har det vært slik?<ul style="list-style-type: none">○ Hvilke fag har krevd mer oppfølging og ressursbruk i form av særmøter for MP TRE enn for MP2?○ Er det fag som ikke har krevd mer oppfølging i forhold til MP TRE enn MP2?	
B1.5	<ul style="list-style-type: none">• Har samme rådgivere blitt brukt for både MP2 og TRE?<ul style="list-style-type: none">○ Hvilke rådgivere har blitt ikke for begge bygg, og hvorfor?○ Hvilke rådgivere har blitt brukt for både MP2 og TRE?	
B1.6	<ul style="list-style-type: none">• Vil du anta rådgiverne generelt har brukt mer eller mindre ressurser i prosjekteringsarbeidet for MP TRE enn for MP2?<ul style="list-style-type: none">○ Hvilke rådgivere har brukt mer tid og ressurser på MP TRE enn på MP2, og hva mener du er grunnen til det?○ Hvilke rådgivere har brukt mindre eller like mye tid og ressurser på begge bygg, og hva mener du er grunnen til det?	

B2.1	<ul style="list-style-type: none"> • Hvordan har holdningene til rådgiverne vært i forhold til å løse nye problemstillinger, knyttet til MP TRE i forhold til MP2? <ul style="list-style-type: none"> ○ Har rådgiverne vært aktive og bidratt til å løse nye problemstillinger knyttet til MP TRE? 	
B2.2	<ul style="list-style-type: none"> • Hva er dine erfaringer med å organisere prosjekteringsprosessen for massivtreprosjekt slik den har blitt gjort her? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hva synes du har fungert bra, og hva har fungert mindre bra? 	
B2.3	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilke spesielle utfordringer har VDT erfart ved prosjektering av massivtrebygg kontra. betong/stålbygg? <ul style="list-style-type: none"> ○ Er det ting som er enklere ved prosjektering av massivtrebygg? 	
B2.4	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilke områder og fag krever større ressursbruk fra VDT`s side i prosjekteringsprosessen av massivtrebygg? 	
B3.1	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilke tiltak ville du gjort for å forbedre prosjekteringsprosessen i kommende massivtreprosjekter? 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Er det andre forskjeller mellom MP2 og MP TRE du vil trekke fram fra prosjekteringsprosessen? 	
Del C: Produksjonsprosessen (Planlagt produksjon)		
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
C1.1	<ul style="list-style-type: none"> • Hva er forskjellig ved å sette opp bærekonstruksjonene i MP2 og i MP TRE? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hvilke byggtekniske hovedforskjeller er det mellom MP2 og TRE? ○ Hvilke fordeler har massivtre? ○ Hvilke fordeler har betong/stål? 	
C1.2	<ul style="list-style-type: none"> • I hvilke deler av produksjonsprosessen bruker VDT egne mannskaper, og er det forskjeller mellom MP2 og TRE? 	
C1.3	<ul style="list-style-type: none"> • MP2 og MP TRE står på felles kjeller, hvilke forskjeller er det her på betongarbeidet? <ul style="list-style-type: none"> ○ Er det forhold som gjør det mer eller mindre komplisert for MP TRE enn for MP2, evt. hvilke? 	
C1.4	<ul style="list-style-type: none"> • Benyttes samme UE`er innen konstruksjon og tekniske fag i både MP2 og MP TRE? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hvilke er evt. forskjellig, og hva er grunnen til det? 	

[Skriv her]

C1.5	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke fag vil påvirkes mest av at MP TRE er i massivtre?<ul style="list-style-type: none">○ Hvordan tror du dette vil påvirke dem?○ Er det fag som ikke vil bli påvirket av de ulike bæresystemene?	
C1.6	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke forskjeller er det for hvordan rigg og byggeplasslogistikk organiseres for MP2 og TRE?<ul style="list-style-type: none">○ Hva er grunnen til at det løses ulikt for MP2 og TRE?○ I hvilke faser av byggeprosessen vil det være forskjeller?	
C1.7	<ul style="list-style-type: none">• Organiseres innkjøp og bestillinger ulikt for MP2 og TRE?<ul style="list-style-type: none">○ Hva er evt. årsaken til det?	
C2.1	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke erfaringer har VDT hentet inn angående produksjonsprosessen fra tidligere massivtreprosjekt?	
C2.2	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke erfaringer har VDT gjort seg så langt i produksjonsprosessen?	
C3.1	<ul style="list-style-type: none">• Er det ting du ser allerede nå burde vært gjort eller må gjøres mer effektivt i produksjonsprosessen?	
	<ul style="list-style-type: none">• Er det andre forskjeller mellom MP2 og MP TRE du vil trekke fram angående produksjonsprosessen, eller som du ser kan dukke opp?	
	Til slutt, er det ting angående design-, prosjektering- og produksjonsprosessen du føler ikke er tatt opp gjennom intervjuguiden, hvilke?	

INTERVJUGUIDE 2

Intervju med representanter fra prosjekteringsgruppen

Del A: Designprosessen		
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
A1	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan var involveringen av dere i designprosessen for MP3 i forhold til for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?<ul style="list-style-type: none">○ Hvordan var generelt involveringen av rådgivere og tekniske fag i designprosessen?	
A2	<ul style="list-style-type: none">• Har deres tilnærming og fremgangsmåte i designprosessen vært annerledes for MP3 enn for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?<ul style="list-style-type: none">○ På hvilken måte?	
A3	<ul style="list-style-type: none">• Hva anser du har vært de største utfordringene i designprosessen for MP3?<ul style="list-style-type: none">○ Med hensyn på prosessen generelt○ For ditt fag○ Andre fag- som påvirker ditt fag• Hvordan er disse utfordringene i forhold til de dere møter for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?• Hva mener du disse utfordringene kommer av?	
A4	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan vil du si deres tids- og ressursbruk i designprosessen var for MP3 i forhold til MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?	
A5	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan vil du beskrive detaljeringsnivået på materialet fra designprosessen for MP3 i forhold til MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?<ul style="list-style-type: none">○ Deres detaljeringsnivå○ Det generelle detaljeringsnivået	
A6	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke erfaringer sitter dere igjen med fra designprosessen for MP3 (sett i forhold til MP2)?	
A7	<ul style="list-style-type: none">• Hva ville du anbefalt for å forbedre designprosessen i kommende massivtreprosjekter?	
Del B: Prosjekteringsprosessen		
B1	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan var involveringen av dere i prosjekteringsprosessen for MP3 i forhold til for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?<ul style="list-style-type: none">○ Har dere vært involvert i mer møtevirksomhet (p-møter /særmøter) for MP3 enn for MP2, hvorfor?○ Hvordan var generelt involveringen av rådgivere og tekniske fag i prosjekteringsprosessen?	
B2	<ul style="list-style-type: none">• Har deres tilnærming og fremgangsmåte i prosjekteringsprosessen vært annerledes for MP3 enn for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?<ul style="list-style-type: none">○ På hvilken måte?○ Evt. hvorfor ikke?	

[Skriv her]

B3	<ul style="list-style-type: none">• Hva anser du har vært de største utfordringene i prosjekteringsprosessen for MP3?<ul style="list-style-type: none">○ Med hensyn på prosessen generelt○ For ditt fag○ For andre fag- som påvirker ditt fag• Hvordan er disse utfordringene i forhold til de dere møter for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?• Hva mener du disse utfordringene kommer av?	
B4	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan vil du si deres tids- og ressursbruk i prosjekteringsprosessen var for MP3 i forhold til MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)?<ul style="list-style-type: none">○ Til møtevirksomhet○ Egeninnsats○ Hvordan var fokus i p-møter (andel av tid og fokus på hhv. MP3 og MP2)?	
B5	<ul style="list-style-type: none">• Hvilke erfaringer sitter dere igjen med fra prosjekteringsprosessen for MP3 (sett i forhold til MP2)?	
B6	<ul style="list-style-type: none">• Hva ville du anbefalt for å forbedre prosjekteringsprosessen i kommende massivtreprosjekter?	
Del C: Generelle spm.		
C1	<ul style="list-style-type: none">• Har du eller firmaet ditt erfaring med massivtrebygg fra tidligere?<ul style="list-style-type: none">○ Hvilke erfaringer, fra boligbygg?○ Har du/dere fått brukt disse i dette prosjektet. På hvilken måte?○ Hva anså du var forskjellig for massivtre i forhold til betongbygg før prosjektet? (Har dette synet endret seg?)	
C2	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan vurderte dere risiko i arbeidet med kalkuleringen/prising av deres tjenester for MP3 kontra MP2 (eller et annet prosjekt i plassbygd betong)<ul style="list-style-type: none">○ Hvorfor vurderte dere det evt. ulikt?	
C3	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan synes du samarbeidet har fungert i prosjektet?<ul style="list-style-type: none">○ Generelt○ I P-møter og særmøter○ Med VDT○ Med andre prosjekterende• Har samarbeidet fungert ulikt når det gjelder MP3 og MP2?	
C4	<ul style="list-style-type: none">• Hvordan synes du holdningene blant VDT, rådgiverne og de prosjekterende har vært til arbeidet med MP2 og MP3 i prosjektet? (forskjeller?)	

C5	<ul style="list-style-type: none"> • Er det momenter som har vært enklere for dere å behandle i design og prosjektering av MP3 enn for MP2 (andre prosjekter i plasstøpt betong)? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hva vil du si er likt for dere i prosjektering og produksjon av massivtrebygg og bygg i plasstøpt betong? 	
C6	<ul style="list-style-type: none"> • Hvordan tror du ditt fag vil påvirkes i produksjonsfasen for MP3 sett i forhold til MP2? <ul style="list-style-type: none"> ○ Vil det bli forskjeller, hvorfor? ○ Hvordan tror du disse forskjellene vil slå ut for deres del? (Mtp. Tid, material, andre ressurser?) 	
C7	<ul style="list-style-type: none"> • Hvordan tror du ditt fag/dine løsninger vil påvirke andre i produksjonsfasen? <ul style="list-style-type: none"> ○ Er det spesielle løsninger for MP3 som vil påvirke andre negativt (tidsbruk, materialbruk)? ○ Er det løsninger for MP3 som vil påvirke andre positivt, sett i forhold til MP2? 	
C8	<ul style="list-style-type: none"> • Har du/ dere forslag til hvordan de generelle løsningene og oppbygningen av massivtrebygget kan forbedres? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hvordan kan utformingen av massivtrebygget optimaliseres for ditt fag? 	
C9	<ul style="list-style-type: none"> • Er det ting som ikke er tatt opp i intervjuet som du mener kan være med på å belyse eventuelle forskjeller ved å prosjektere og bygge i massivtre og i plasstøpt betong? 	

INTERVJUGUIDE 3

Intervju med representanter fra Veidekke Entreprenør

Del A: Produksjonsprosessen (Bæresystemet/Råbygg)		
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
A1	<ul style="list-style-type: none"> • MP2 og MP TRE står på felles kjeller, hvilke forskjeller var det her på betongarbeidet? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hvordan vil du beskrive disse? ○ Hvordan gikk oppføringen av betongen i MP2? ○ Hvordan var det med kvalitetsavvik i kjelleren under MP3 kontra MP2? ○ Hvordan var det med avvik oppover i MP2? ○ Hvordan fungerte samarbeid/samhandling med tømmer? 	
A2	<ul style="list-style-type: none"> • Hvordan har montasjen av massivtre gått? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hva har vært positivt og negativt? ○ Hvordan var samarbeidet/samhandlingen med montøren? ○ Hvordan har det vært med kvalitetsavvik oppover i MP3? 	
A3	<ul style="list-style-type: none"> • Hvordan har rigg og byggeplasslogistikk fungert så langt, både for MP2 og MP3? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hva kunne vært løst på en annen måte sett tilbake for begge? 	
A4	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilke erfaringer har VDT gjort seg så langt i produksjonsprosessen, spesielt i forhold til oppføring av bæresystemet/råbygg? 	
A5	<ul style="list-style-type: none"> • Har dere måtte endre produksjonsplanen underveis ved arbeidet med bæresystemet/råbygget for MP2 og MP3? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hva er evt. grunnen til det? 	
A6	<ul style="list-style-type: none"> • Er det ting du mener bør løses på en annen måte i neste massivtreprosjekt, i montasjefasen? 	
DEL B	Produksjonsprosessen (Innredning)	
	<i>Planleggingsprosessen for innredningsarbeider som skal gjennomføres av tømmer og tekniske fag. Etter ferdig råbygg.</i>	
Spm.Nr.	Spørsmål	Notater
B1	<ul style="list-style-type: none"> • Er det forskjeller i hvordan planleggingsprosessen av produksjonen for MP2 og MP3 har blitt gjennomført? <ul style="list-style-type: none"> ○ Har man involvert UE'er på en annen måte i produksjonsplanleggingen av MP3 enn tilfellet var for planleggingen av MP2? ○ Er det blitt gjort andre tiltak i planleggingsprosessen for å tilpasse produksjonen til et bygg i massivtre? ○ Hvordan har tidsbruk/arbeidsmengde og møteomfang vært for planleggingsprosessen for MP kontra MP2? 	

B2	<ul style="list-style-type: none"> • Er det noen vesentlige forskjeller i forhold til type aktiviteter og rekkefølge på aktiviteter i produksjonsplanene for MP2 og MP3? <ul style="list-style-type: none"> ○ Har det blitt gjort store endringer underveis i planleggingsprosessen? ○ Har det oppstått uventede utfordringer underveis i produksjonsplanleggingen? Evt. hvilke? 	
B3	<ul style="list-style-type: none"> • Hvordan vil du beskrive detaljeringsnivået på produksjonsplanene for MP3 kontra MP2? <ul style="list-style-type: none"> ○ Er det forskjeller i spesifisering og detaljering av arbeidspakkene? 	
B4	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilken retning er valgt for produksjonstoget i MP3? <ul style="list-style-type: none"> ○ Fra øverste etasje og ned? ○ Hva er bakgrunnen for dette valget? ○ Har dette blitt endret underveis i prosessen? 	
B5	<ul style="list-style-type: none"> • Hvilke erfaringer har du gjort deg i forhold til planleggingsprosessen av produksjon i et massivtrebygg? <ul style="list-style-type: none"> ○ Hva mener du har vært de største utfordringene underveis i produksjonsplanlegging av MP3? ○ Hva mener du disse utfordringen kommer av? 	
B6	<ul style="list-style-type: none"> • Er det ting du ser som burde vært gjort på en annen måte i planleggingsprosessen av produksjon for MP3? <ul style="list-style-type: none"> ○ Er det ting du mener bør gjøres annerledes for å få en bedre og mer effektiv planleggingsprosess ved lignende prosjekter(massivtreprosjekter) i fremtiden? 	
B7	<ul style="list-style-type: none"> • Hva tror du vil bli de største utfordringene i forhold til gjennomføringen av produksjonsplanene for MP3 <ul style="list-style-type: none"> ○ Er det noen områder/aktiviteter det bør fokuseres ekstra på? Evt. hvorfor? ○ Hvilke tiltak er gjort eller mener du kan gjøres for å håndtere disse utfordringene best mulig? 	
B8	<ul style="list-style-type: none"> • Hva tror du vil bli de største forskjellene på gjennomføringen av produksjonen i MP2 og MP3? 	

[Skriv her]

VEDLEGG 4, OBSERVASJONSSKJEMA

Observasjon, fokusert

Prosjekteringsmøte nr: Dato:

I slutfasen av prosjektering

Fokus: Antall Saker relatert til MP2 og TRE og hva de gjelder

Reaksjon/Diskusjon blant rådgiverne rundt sakene

Saker som må løses:

MP2	MP3

Hva gjelder saken:	Reaksjon/ diskusjon rundt sakene