Masteroppgave

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

Simen Wahlstrøm

Anvisning for massivtrebygging

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Tore Kvande
Juni 2019

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Simen Wahlstrøm

Anvisning for massivtrebygging

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Tore Kvande
Juni 2019

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

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for bygg og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) våren 2019. Masteroppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og utgjør hele vurderingsgrunnlaget i faget *TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave.*

Tett kontakt og samarbeid med aktører i næringen, har gjort arbeidet både givende og spennende. Jeg ønsker å takke alle aktører og personer som brukt sin tid og bidratt med erfaring, dokumenter og konstruktive innspill. Uten frivillige og veldedige bidrag, ville det ikke vært mulig å gjennomføre arbeidet med samme fokus.

Deler av arbeidet er gjort i samarbeid med representanter fra SINTEF Byggforsk. En særlig takk gis til Lars Gullbrekken og Kristin Elvebakk for samarbeid under forarbeidet, og for innspill til paperet *Experiences with CLT Construction in Norway*.

SINTEF Byggforsk har vist interesse for mitt arbeid, og har bidratt jevnlig med rådgivning og innspill. Jeg ønsker også å takke SINTEF Byggforsk som har gitt meg muligheten til å presentere mitt arbeid i Klima 2050 sin lunsjpresentasjon 14. februar, samt at jeg fikk lagt fram mitt arbeid og deltatt på kurs i bygging med massivtre for Byggmesterforbundet Salten i Bodø 20. – 21. mars i vår.

Jeg ønsker å rette en stor takk til Tore Kvande, professor i bygningsmaterialer ved NTNU og Klima 2050, som har vært min engasjerte, oppmuntrende og tålmodige veileder det siste året. Konstruktive diskusjoner rundt oppgavens struktur og faglige innspill underveis har vært avgjørende for oppgavens innhold og arbeidets framgang.

Trondheim, juni 2019

Simen Wahlstrøm

Sammendrag

Masteroppgaven bygger videre på fordypningsprosjektet med tittel *Erfaringer med bygging i massivtre* (Wahlstrøm, 2018). Med bakgrunn i 19 intervjuer med aktører i byggenæringen, avdekker fordypningsprosjektet et kunnskapshull i den norske litteraturen som omhandler massivtre. Oppdatert og veiledende litteratur om akustikk, brannsikkerhet og fuktsikker utførelse er særlig etterspurt. Grunnet et tydelig forskningsbehov, forsøker masteroppgaven å fylle et kunnskapshull i norsk litteratur om bygging med massivtre. Kunnskapshullet oppfylles ved å utarbeide en anvisning som viser hvordan krysslaminerte treelementer (KLT), omtalt som massivtre, kan brukes i bygninger. Tanken er at oppgaven skal være til inspirasjon og skal kunne brukes som utgangspunkt i utviklingen av oppdatert og veiledende litteratur om massivtre.

Grunnet manglende anvisninger, forsøker anvisningen utarbeidet i oppgaven å benytte samme format som i Byggforskserien. I arbeidet er det holdt møter med SINTEF Byggforsk hvor det er gitt veiledning og forklaring av prinsipper for utarbeidelse. Dette har påvirket metodearbeidet med anvisningen. Metodearbeidet har en kvalitativ tilnærming og baseres på kommunikasjon med aktører i byggenæringen. Aktørene har ulikt perspektiv til massivtre. Både byggherrer, rådgivere (inkludert arkitekter), entreprenører og massivtreleverandører involveres. I masteroppgaven er det gjennomført et omfattende dokumentstudium, hvor aktører i næringen har delt dokumenter i form av byggdetaljer. I dokumentstudiet ble det innsamlet mer enn 400 dokumenter fra 11 aktører fra 12 prosjekter. Næringens og forskningsmiljøenes interesser ivaretas gjennom en omfattende kvalitetssikringsprosess for anvisningens innhold.

Informasjonsgrunnlaget for innholdet i anvisningen er erfaringer fra intervjuene samt analyse av dokumenter. Dokumentene har lagt grunnlaget for utarbeidelse av byggdetaljer vist i anvisningen. Et utkast av anvisningen er kvalitetssikret av 16 personer med massivtreerfaring. Dette er personer fra deltakende aktører, opparbeidede bekjentskaper under oppgaven, samt professorer ved NTNU og forskere ved SINTEF Byggforsk.

Arbeidet har resultert i en anvisning for bygging med massivtre, med særlig fokus på utførelse som gir en fuktsikker konstruksjon og en rasjonell framdrift. Anvisningen tar utgangspunkt i en enebolig på inntil tre etasjer, men prinsipper og løsninger kan også benyttes til prosjektering og utførelse av større prosjekter. Massivtre blir brukt i alle bygningsdeler, og det vises anbefalt utførelse av yttervegg, etasjeskiller, vindusinnsetting og tak. Alle detaljene har synlig massivtre som innvendig overflate. Byggdetaljene er utarbeidet av undertegnede i programvaren AUTOCAD2018. Likhetstrekk med anvisninger i Byggforskserien ivaretas gjennom liknende oppbygging og skriftspråk. Det er gitt tilgang til SINTEF Byggforsks skriveregler.

Masteroppgaven består også av to vitenskapelige konferansepaper og to tekniske fagartikler. Konferansepaperene omhandler henholdsvis bearbeidelse av resultatene fra fordypningsprosjektet og beskrivelse av metodearbeidet i masteroppgaven. Begge er skrevet med hensikt i å sende inn til konferansen 12th Nordic Symposium on Building Physics i Tallinn 2020. De tekniske fagartiklene er publisert i spalten «*Fra ekspertene: NTNU*» i Byggeindustrien i henholdsvis utgave 3/2019 og 9/2019. Disse er skrevet for å nå ut til næringen med resultatene på en lettfattelig og oversiktlig måte.

Abstract

This Master thesis continues the works of a specialization project titled *Experiences with CLT Construction* (Wahlstrøm, 2018). Through 19 interviews with actors in the Norwegian construction industry the specialization project reveals a knowledge gap concerning Norwegian literature covering cross-laminated timber (CLT) construction. Especially, updated literature and guidelines covering acoustics, fire safety, moisture safety design are needed. Due to a clear research need, this master thesis has the objective to fill a knowledge gap concerning Norwegian literature covering CLT construction. The knowledge gap is filled through developing a construction guide containing CLT building construction guidelines. The ambition of the master thesis is that it will inspire and be used as a base in further development of updated and guiding literature disclosing CLT.

Due to missing Norwegian construction guides disclosing CLT, the guide developed in the master thesis, attempt to adapt the same format and layout as a guide from SINTEF Community. During the study, guidance and explanations on important method principles has been given through meetings with SINTEF Community. This has affected the methods used in the development. The applied methods have a qualitative approach and is based on communication and knowledge transfer with actors in the Norwegian construction industry. The participating actors have different perspectives on CLT. Owner builders, consultants (including architects), contractor and CLT suppliers, are all participating. In the master thesis, a comprehensive document study is conducted. Actors have shared documents, such as construction details. In the document study more than 400 documents were collected from 11 actors representing 12 projects. Industry and research community interests are maintained through a quality assurance process on the guide content.

The basis for the content in the construction guide is information obtained through the interviews and analysis of collected documents. The documents are used as a base for developing construction details presented in the guide. A guide draft is reviewed by 16 people with CLT construction experience, including participating actors and researchers from SINTEF Community and NTNU.

The master thesis results in a guide covering CLT building construction, with an emphasis on moisture safe design and rational progress. The guide takes base in a detached residential house with a maximum of 3 stories. Though, the design principles can be applied also on larger projects. CLT is used in all building components. The guide presents recommended design for exterior wall, slabs, window insertion and roofs. The construction details are developed by the author in the software AUTOCAD 2018. Similarities to a guide from SINTEF Community is maintained through use of similar format, structure and written language.

Additionally, the master thesis consists of two scientific conference papers and to technical articles. The conference papers cover respectively processed results from the specialization projects and description of the methodical works in the master thesis. They are both written with the purpose to be submitted to the 12th Nordic Symposium on Building Physics in Tallinn 2020. The technical articles are both published in the Norwegian construction industry magazine *Byggeindustrien*, respectively in edition 3/2019 and 9/2019. They are written to present the results to the industry in a straightforwardly format.

Innhold

Figurer x
Tabeller x
1 Introduksjon 13
1.1 Bakgrunn 13
1.2 Motivasjon 14
1.3 Forarbeid 14
1.4 Hovedmål for oppgaven 15
1.5 Oppgavens strukur 16
1.6 Avgrensinger 17
2 Teoretisk rammeverk 19
2.1 Materialet 19
2.2 Hygroskopiske egenskaper til trevirke 22
2.3 Fuktsikkerhet i bygninger 24
2.4 Brannsikkerhet og akustikk 27
3 Diskusjon av metode 29
3.1 Oppgavens oppbygging 29
3.2 Kvalitativ tilnærming og objektivitet 29
3.3 Næringen som informasjonskilde 30
3.4 Veiledning fra forskningsmiljøer 30
4 Diskusjon av resultater 33
4.1 Konfidensintervall 33
4.2 Dokumentstudiet 33
4.3 Kvalitetssikringsprosessen 34
4.4 Anvisningen 35
4.5 Teknisk fagartikkel 36
4.6 Bygningstekniske utfordringer 37
5 Konklusjon 39
6 Forslag til videre arbeid 41
Referanser 43
Vedlegg 47

Figurer

Figur 2.1 – Tilvirket volum massivtre i Europa.....19
Figur 2.2 – Krysslimte elementer i fem sjikt.....21
Figur 2.3 – Stående element og hulromselement.....21
Figur 2.4 – Krympeverdier og likevektsfuktighetskurve for treverk.....23
Figur 2.5 – Eksempel på basiskonstruksjoner med massivtre 25
Figur 2.6 – Fuktkilder i bygninger og kilder til luftlekkasjer 26
Figur 2.7 – Værutsatt massivtreelement og isolasjonssjikt.....27

Tabeller

Tabell 4.1 - Oversikt over innsamlede dokumenter 33

1 Introduksjon

Masteroppgaven beskriver arbeidet som er utført for å fylle kunnskapshull i norsk litteratur om bygging med massivtre. Kunnskapshullet er forsøkt fylt ved å utarbeide en anvisning for bygging med massivtre. Masteroppgavens ambisjon er å utgjøre en positiv forskjell innen fagområdet. Arbeidet bygger videre på et fordypningsprosjekt utført av undertegnede (Wahlstrøm, 2018).

1.1 Bakgrunn

Massivtre er en fellesbetegnelse for lameller (planker) i tre som er satt sammen til hele elementer. Elementer i massivtre kan utgjøre vegger, sjakter, dekker eller tak i et bygg. Den vanligste formen for massive treelementer til bygningsformål er krysslaminerte treelementer, hvor lamellagene lamineres vinkelrett på hverandre. Internasjonalt er dette omtalt som *cross-laminated timber*, forkortet *CLT*. I Norge har dette fram til nå blitt omtalt som *massivtre*, og den norske oversettelsen *krysslimt tre* eller *kl-tre* er foreløpig lite brukt (Østnor, 2018). I denne oppgaven siktes det til krysslimte treelementer når begrepet *massivtre* og *massivtreelementer* brukes.

Utvikling av massivtreelementer til bygningsformål startet i Sentral-Europa på 1990-tallet. Likevel er det først de siste 8-10 årene at massivtreelementer har blitt mer omfattende brukt til bygningsformål i Norge (Asplan Viak, 2016). Økt bruk skyldes utviklingen av et byggesystem som kan ha positiv innvirkning på prosjektenes klimagassavtrykk, estetikk, produksjonstid, arbeidsmiljø og økonomi (Wahlstrøm, 2018). Særlig blir massivtreets positive miljøegenskaper benyttet som et hovedargument for økt bruk, grunnet større fokus på miljø og miljøvennlig byggenæring (Regjeringen, 2014). Massivtreets positive miljøegenskaper har bakgrunn i at trær som vokser tar opp karbondioksid (CO_2), og binder dette som karbon i trevirket gjennom dets levetid (Tellnes, 2015). Politiske føringer støtter derfor økt bruk av massivtreelementer i bygninger, samt økt produksjon av massivtreelementer i Norge (Regjeringen, 2017). I nyere tid har bruk av massivtre også fått kommersiell interesse, noe som kan eksemplifiseres i prestisje i å oppføre verdens høyeste trehus. Først ute var *Treet* i Bergen på 51 meter (Teknisk ukeblad, 2015) og deretter *Mjøstårnet* i Brumunddal på 85 meter (Moelven, 2018).

En studie gjennomført av Espinoza *et al.* (2016) kartlegger kunnskapsnivået om massivtre blant forskningsinstitusjoner og ingeniører i Europa. Resultatene viser at det generelle kunnskapsnivået er lavt, og at det er behov for mer forskning på massivtre. De største barrierene mot økt bruk var mangel på teknisk informasjon, kompatibilitet med bygningskode (standarder) og misoppfatninger om treverk. Statisk oppførsel og fuktsikkerhet blir pekt ut som viktige områder for videre forskning. Fordypningsprosjektet (Wahlstrøm, 2018) oppsummert i kapittel 1.3, fastslår at byggenæringen i Norge mener at kunnskapsgrunnlaget om massivtre er for lavt. Den største barrieren mot økt bruk av massivtre er å tilfredsstille krav til brannsikkerhet og akustikk. Oppdatert veiledende litteratur er savnet. Resultatet fra disse to studiene indikerer at det eksisterer et kunnskapshull for massivtre, og at både næringen og forskningsinstitusjoner bør bidra med å øke kunnskapsgrunnlaget.

Større fokus på miljø kombinert med statlige og kommersielle interesser, indikerer økt bruk av massivtre i framtiden. Forskning viser at kunnskapsnivået om massivtre generelt er lavt og at det mangler relevant teknisk litteratur. Ettersom det er ventet økt bruk, er det kritisk å samle erfaringer, som kan være til hjelp for å utvikle oppdatert litteratur. Bredere kunnskapsgrunnlag er viktig for å kunne gi flere retningslinjer som tilrettelegger for utstrakt bruk av massivtre i norsk byggenæring. Retningslinjer er viktig for at framtidig bruk av massivtre skjer mer enhetlig og bærekraftig. Sett i et vitenskapelig perspektiv, indikerer forholdene beskrevet over, at massivtre er et viktig tema å forske på. Massivtre har derfor vært et gjennomgående tema både i fordypningsprosjektet (Wahlstrøm, 2018) og i masteroppgaven.

1.2 Motivasjon

I tillegg til et vitenskapelig forskningsbehov, er det flere årsaker til at massivtre er valgt som tema i fordypningsprosjektet og i masteroppgaven. Innledningsvis bør det sies at undertegnede gjennom oppveksten har hatt generell interesse for skogbruk og trevirke. Bekjente i massivtrenæringen har også bidratt til økt oppmerksomhet for massivtre som fagområde. Valg av bygnings- og materialteknikk som hovedretning i studiet gir riktig faglig bakgrunn for å studere massivtre.

Gjennom praksisarbeid på byggeplass opp igjennom studieløpet, økte interessen for tre som byggemateriale. Undertegnede har også fått befaring på byggeplass hvor det ble brukt massivtreelementer. Spørsmål har derfor blitt stilt til både kollegaer og professorer. Etter hvert fikk undertegnede en oppfatning av at det var knyttet enkelte utfordringer til bygging med massivtre, og at det finnes for lite informasjon og forskning på området. Inntrykket var også at det er vanskelig å oppfylle brannkrav, og at det er usikkert hvorvidt dampsperresjikt bør brukes i ytterkonstruksjoner. Denne interessen førte til at temaet ble foreslått til veileder og formulert til en oppgave sommeren 2018.

Underveis i fordypningsprosjektet (se kapittel 1.3) økte interessen for temaet gjennom tett kommunikasjon med næringen og ved interessante funn. Å fortsette med massivtre som tema i masteroppgaven var derfor svært naturlig, og etter undertegnedes ønske.

1.3 Forarbeid

Fordypningsprosjektet (Wahlstrøm, 2018), ble utført av undertegnede høsten 2018 og er i resten av oppgaven omtalt som *fordypningsprosjektet*. Fordypningsprosjektet danner grunnlaget for arbeidet som er utført i masteroppgaven. Arbeidet hadde som formål å kartlegge bygningsfysiske og bygningstekniske utfordringer med bygging med massivtre. Dette gjøres gjennom erfaringsinnhenting fra aktører i byggenæringen i Norge. Det var også et mål å kartlegge litteratur som brukes som utgangspunkt ved prosjektering av bygninger i massivtre. Målene ble valgt grunnet usikkerhet rundt benyttede konstruksjonsprinsipper sett i sammenheng med forventet økt bruk av massivtre i framtiden. Undertegnedes fagvalg og spesialisering i studiet førte til at fuktteknikk og fuktsikkerhet ble ilagt et særlig fokus.

Metoden som ble benyttet i kartleggingen, var å gjennomføre det som i Yin (2009) beskrives som kvalitative fokusintervjuer, med erfarne aktører i byggenæringen. Kvalitative fokusintervjuer er samtalebaserte intervjuer som egner seg for å anskaffe dybdeforklaringer og innsikt i et emne. En kvalitativ tilnærming var nyttig, ettersom oppgavens mål var å anskaffe dybdeforklaringer fra personer med *hands-on* massivtreerfaring, ikke registrere frekvensen av enkelte fenomener og hendelser (Hauge *et al.*, 2017). For å oppnå en helhetlig oversikt over situasjonen for massivtre i Norge var

det ønskelig å intervjue aktører med ulikt perspektiv til massivtre. Derfor ble det intervjuet både byggherrer, rådgivere (inkludert arkitekter), entreprenører og massivtreleverandører. Intervjuene ble utført i samarbeid med SINTEF Byggforsk, som utførte et liknende prosjekt parallelt (Gullbrekken og Elvebakk, 2018). I samarbeidet ble det utarbeidet en intervjuguide som omfattet flere sentrale emner om bygging med massivtre. Utover fuktteknikk omhandlet spørsmålene massivtre sett opp mot brannsikkerhet, akustikk, statikk, produksjon og økonomi. Intervjuguiden kunne tilpasses avhengig av hvilken type aktør som ble intervjuet. Til sammen ble det gjennomført 19 intervjuer. Undertegnede utførte 6 intervjuer ansikt til ansikt, og ett intervju over telefon. SINTEF Byggforsk utførte sine intervjuer over telefon. Fra hvert intervju ble det skrevet et referat som ble godkjent av intervjuobjektet. Referatene ble delt mellom undertegnede og SINTEF Byggforsk, og er hovedkilden til informasjon i fordypningsprosjektet. Studien bruker også et strukturert litteratursøk for å få en helhetlig oppfatning av hva som finnes av eksisterende litteratur som omhandler massivtre. En evaluering av utvalgt litteratur gjøres i fordypningsprosjektet.

Fordypningsprosjektet gjør interessante funn. Det kommer tydelig fram i både intervjuene og litteratursøket, at det er et kunnskapshull og et behov for mer forskning på massivtre. Den eksisterende norske litteraturen oppfattes utdatert av næringen, og lite relevant til hverdagslige gjøremål knyttet til massivtre. Konsekvensen av utdatert litteratur er at tidligere prosjekter og tekniske brosjyrer fra massivtreleverandører brukes som utgangspunkt for prosjektering. Resultatene viser at aktører i næringen på et generelt nivå, ikke opplever flere bygningstekniske og bygningsfysiske utfordringer knyttet til bygging med massivtre sammenlignet med andre konstruksjonssystemer. Den største barrieren for utstrakt bruk av massivtre er utfordringene med å tilfredsstille krav til brannsikkerhet og akustikk. Her savnes dokumenterte løsninger, og tilpasninger i regelverket. Det savnes også veiledende litteratur i form av anvisninger i Byggforskserien som gir retningslinjer for håndtering av byggfukt og fuktsikre løsninger.

1.4 Hovedmål for oppgaven

Grunnet begrenset norsk forskning og manglende litteratur om bygging med massivtre, vil oppgaven forhåpentligvis være et bidrag som øker kunnskapsgrunnlaget på området. Med bakgrunn i resultatene i fordypningsprosjektet, har oppgaven følgende formål:

> *Å fylle et kunnskapshull om manglende norsk veiledende litteratur om bygging med massivtre med vekt på bygningsfysiske og bygningstekniske utfordringer*

Kunnskapshullet fylles ved å utarbeide en anvisning om bygging med massivtre, hvor det er særlig fokus på fuktsikre konstruksjoner og rasjonell framdrift. Anvisningen er ment å være en demonstrasjon på hvordan en anvisning i Byggforskserien kan se ut. Resultatet er ment å være til inspirasjon for byggenæringen og forskningsinstitusjoner. Ambisjonen er at oppgaven kan være et utgangspunkt for utvikling av litteratur og retningslinjer for bygging med massivtre. Oppdaterte retningslinjer og veiledende litteratur er avgjørende for mer enhetlig og bærekraftig bruk av massivtre i framtiden.

Resultatet oppnås ved å gjennomføre et strukturert forskningsarbeid hvor informasjon og kunnskap fra næringen står sentralt. Involvering av næringen skjer gjennom deling av byggdetaljer i et dokumentstudium og gjennom deltakelse i kvalitetssikring av arbeidet.

1.5 Oppgavens strukur

Masteroppgaven består av en anvisning, to vitenskapelige konferansepaper og to tekniske fagartikler. Formålet med *denne* teksten, omtalt som *kappen*, er å sette de ulike bestanddelene av oppgaven inn i en overordnet sammenheng. Forskningen i masteroppgaven er beskrevet i vedleggene 1 – 8, og gjengis ikke i kappen. Kappen tar for seg enkelte forhold som er naturlige å omtale i en masteroppgave, men som ikke framkommer i de ulike vedleggene grunnet sidebegrensing. I tillegg beskrives valg gjort underveis, samt drøfting av metode og resultater. Oppbyggingen av oppgaven er inspirert av en liknende oppbygging i masteroppgaven til Slapø (2017).

Avsnittene under innholdslisten introduserer kort de ulike bestanddelene som utgjør oppgaven. I tillegg beskrives det hvorfor oppbyggingen er valgt, og hensikten med de enkelte bestanddelene.

Anvisning

- Wahlstrøm, S. (2019) Bygging med massivtre

Vitenskapelige konferansepaper

- Wahlstrøm, S., Gullbrekken, L., Elvebakk, K. og Kvande, T. (2019) Experiences with CLT Construction in Norway. (*Upublisert: ekstrakt sendt til 12th Nordic Symposium on Building Physics for vitenskapelig gjennomgang 06. juni 2019)*

- Wahlstrøm, S. (2019) Methods for Creating CLT Construction Guidelines. *(Upublisert: ekstrakt sendt til 12th Nordic Symposium on Building Physics for vitenskapelig gjennomgang 06. juni 2019)*

Tekniske fagartikler

- Wahlstrøm, S. og Kvande, T. (2019) Erfaringer med bygging i massivtre, *Byggeindustrien («Fra ekspertene: NTNU»)*, 3/2019, s. 43.

- Wahlstrøm, S. og Kvande, T. (2019) Etterspurt massivtreanvisning, *Byggeindustrien («Fra ekspertene: NTNU»)*, 9/2019, s. 55.

Anvisningen er oppgavens hovedresultat og presenterer en oppsummering av kunnskapen om bygging med massivtre som er opparbeidet det siste året. Kunnskap fra intervjuene og dokumentstudiet representeres gjennom instruksjoner og byggdetaljer i anvisningen. Anvisningen er utarbeidet i samsvar med SINTEF Byggforsk sine skriveregler (Sintef Byggforsk, 2015). Formålet til Byggforskserien er å gi dokumenterte løsninger og anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger (SINTEF Byggforsk, 2019). Løsninger i Byggforskserien er veldokumentert og oppfyller kravene i byggteknisk forskrift (TEK17). Et viktig mål i oppgaven har vært å kommunisere med næringen, både om utfordringer og løsninger. En anvisning med tilnærming til Byggforskserien er derfor et egnet format for å gjøre resultatet av forskningen presentabelt, og for å gi oppdaterte retningslinjer for bygging med massivtre. Dersom anvisningen kan fungere som et utgangspunkt for videre forskning, vil arbeidet etter hvert kunne være til nytte for næringen. Dette forutsetter at forskningsmiljøer bearbeider og dokumenterer innholdet. Anvisningen utgjør vedlegg 1 i oppgaven.

Avdekking av kunnskapshull i fordypningsprosjektet ble ansett som så aktuelt at det var ønskelig å presentere arbeidet på en konferanse. Resultatene har derfor blitt reflektert og bearbeidet underveis i masteroppgaven. Sammensetningen av metoder for å utarbeide anvisningen i masteroppgaven, er noe utradisjonell. Grunnet vellykket gjennomføring og engasjement fra både næringen og forskningsmiljøer, kan arbeidet forhåpentligvis være til inspirasjon for annen forskning. Det ble derfor valgt å skrive to vitenskapelige konferansepaper med hensikt i å delta og publisere på konferansen *12th Nordic Symposium on Building Physics* som arrangeres i Tallinn 14. – 17. juni 2020. Paperene er skrevet i henhold til retningslinjer og skriveregler angitt på konferansens nettside (NSB2020, 2019). De ligger vedlagt oppgaven i vedlegg 3 og 4, slik de er sendt inn i påvente av vitenskapelig gjennomgang og eventuell godkjennelse i september eller oktober 2019 (NSB2020, 2019).

Ettersom mye av arbeidet i oppgaven baserer seg på informasjonsdeling med næringen, er det ønskelig å gjøre resultater fra arbeidet lett tilgjengelig. Dette er løst ved å utarbeide to tekniske fagartikler som er publisert i spalten «Fra ekspertene: NTNU» i bransjemagasinet *Byggeindustrien*. Fagartiklene beskriver kort og tydelig arbeidet som er gjort i henholdsvis fordypningsprosjektet og masteroppgaven. Artiklene har en viss sammenheng, siden *Etterspurt massivtreanvisning* er publisert som et svar til utfordringer som presenteres i *Erfaringer med bygging i massivtre*. Artiklene er skrevet innenfor spaltens format, som innebærer at innholdet skal gjengis med maksimalt 3000 tegn og være innenfor en side.

1.6 Avgrensinger

I oppgaven er det bygninger i massivtre som undersøkes, ikke andre typer konstruksjoner, som for eksempel broer, laftehus, eller bygninger i heltre. Av ulike typer massive treelementer er det, som nevnt, krysslaminerte treelementer (KLT) det siktes til når massivtre omtales i teoretisk og praktisk sammenheng.

Arbeidet har ført til innsamling av store mengder informasjon, både gjennom intervjuer i fordypningsprosjektet og gjennom dokumentstudiet. For å oppnå tilstrekkelig innsikt i et tema, har det vært nødvendig å avgrense fokusområdet. Grunnet undertegnedes kompetanse og spesialisering i studiet er bygningsfysikk, bygningsteknikk og fuktsikkerhet hovedtema. Likevel har det vært ønskelig å kartlegge situasjonen for massivtre i Norge i et helhetlig perspektiv. Temaer som statikk, brann, akustikk, produksjonstid og kostnads- og miljøvurderinger er derfor vurdert i anvisningen. Anvisningens avgrensinger er ellers behandlet og diskutert i kapittel 4.

Masteroppgaven har ikke hatt som formål å forske på spesifikke bygningsfysiske og bygningstekniske utfordringer kartlagt i fordypningsprosjektet. Istedenfor er det valgt å fokusere på det avdekte kunnskapshullet. Løsninger for utfordringene knyttet til brannsikkerhet, akustikk og fuktsikkerhet, blir ivaretatt gjennom en praktisk tilnærming i anvisningen. Underveis i arbeidet har det også blitt gjort innsamlinger og observasjoner som har ført til at utfordringene drøftes i kapittel 4.

2 Teoretisk rammeverk

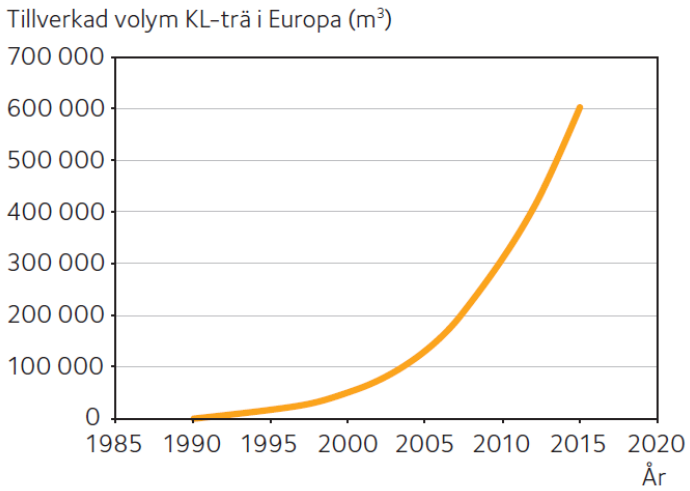
Kapittelet presenterer teori som er relevant for massivtre i lys av oppgavens fokusområder. Innholdet er derfor begrenset til å omhandle massivtre som byggemateriale i sammenheng med utvalgte bygningsfysiske fagområder. Enkelte emner og aspekter omtalt i vedleggene, utdypes i dette kapittelet.

2.1 Materialet

2.1.1 Global historie

Prinsippet for massivtreelementer har sin opprinnelse fra Canada på midten av 1970-tallet, hvor planker satt på høykant og føyd sammen ved hjelp av stålstag, ble benyttet som tverrspente brodekker i både etablering og rehabilitering av broer (Aasheim, 2006). Bruken av tverrspente brodekker var vellykket og spredte seg til Mellom-Europa omkring 1990. I land som Tyskland, Sveits, og Østerrike fortsatte utviklingen i to retninger, både videreutvikling av brodekker og utvikling av tverrspente elementer til bygningsformål. Den videre utviklingen av massive treelementer skyldtes et behov for utvikling av miljøeffektive og rasjonelle konstruksjonssystemer (Aasheim, 2006). Nyere litteratur trekker fram fordeler for miljø, økonomi, bygningsfysikk og inneklima som årsaker til stadig økt bruk av tre som konstruksjonsmateriale (Teibinger og Matzinger, 2013).

Produksjonen og bruk av massivtre har økt særlig de siste 5-10 årene, hvor det sees en mangedobling i antall kubikkmeter (m^3) tilvirket massivtre. Figur 2.1 viser økning i tilvirket volum massivtre i Europa. Østerrike, Sveits og Tyskland produserte i 2015 tilsammen 80 % av verdens massivtre (Espinoza *et al.*, 2016). Utover Europa, sees en stadig voksende interesse for massivtre i Canada og Australia hvor massivtre stadig får større markedsandel (Mallo og Espinoza, 2014). Som forklart i Mallo og Espinoza (2014) er tilgang på lokale elementer en barriere for økt bruk i USA, men det er ventet økt bruk av massivtre globalt når land som Japan, Finland, Latvia og USA kommer på banen (Espinoza *et al.*, 2016).



Figur 2.1 – Tilvirket volum massivtre i Europa (Borgström og Fröbel, 2017, s. 11).

2.1.2 Produksjon av massivtre i Norge

Massivtre ble først introdusert til Norge på slutten av 1990-tallet, og ble anvendt første gang som et dekke i en enebolig i 1998 (Aasheim*, 2006*). Bruk av massivtre i bygninger i Norge har de siste 8-10 årene blitt stadig mer utbredt, og det er forventet økt bruk også i framtiden (Asplan Viak, 2017). Allerede fra 2017 til 2019 var det ventet en dobling i forbruket av massivtre (Teknisk ukeblad, 2017). Dette innebærer økning i både oppføring av bygninger og produksjon av elementer. Tall fra en markedsanalyse om massivtre utført av Trebruk (2017) viser at bygg med massivtre som bærekonstruksjon utgjør 1,85 % av det totale byggmarkedet i Norge, men at dette kan stige til 6 – 9 % i løpet av de neste årene.

Til dags dato har den norske produksjonen av massivtreelementer vært lav. Tall fra Trebruk (2017) viser at kun 2,5 % eller 900 m^3 av det norske massivtreforbruket i 2016 kommer fra 2-3 små norske produsenter. Det resterende forbruket på omtrent 36 000 m^3 ble importert fra land som Østerrike, Sverige, Tyskland, Latvia og Litauen. I henhold til teori for livssyklusanalyser (LCA) vil nasjonal produksjon av elementer med lokalt tilvirket råstoff, være et viktig bidrag for å redusere transport- og klimagassutslipp (Byggforskserien 470.101; Borgström og Fröbel, 2017, s. 13).

Effektene av stadig økte politiske interesser og økt bevissthet på miljø, sees i dag gjennom etablering av stadig flere massivtrefabrikker i Norge. I 2017 åpnet en fabrikk på Kongsvinger med kapasitet til å produsere 5000 m^3 massivtre, men med mål om å øke kapasiteten til 10 000 m^3 (Byggeindustrien, 2017). I mai 2019 åpnet en ny fabrikk ved Åmot i Buskerud, med mål om å produsere 60 000 m^3 massivtre. Med denne produksjonsmengden vil fabrikken være den med største mengde produsert massivtre i verden (Teknisk ukeblad, 2019).

2.1.3 Bruksområder

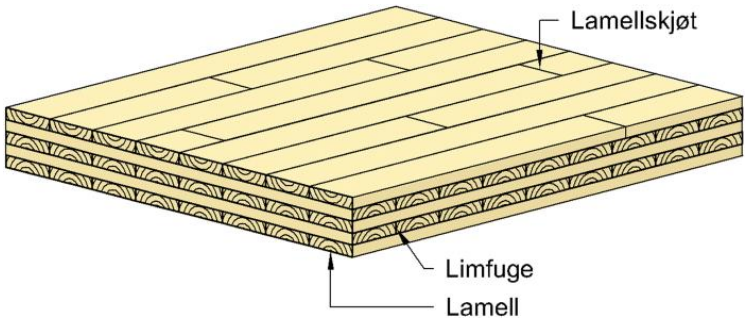
Bruksområdene for massivtreelementer har økt, ettersom byggemetoden har utviklet seg og blitt mer anerkjent. I bygninger utgjør typisk massivtreelementer bygningskomponenter som inner- og yttervegger, tak, etasjeskillere (dekker) og balkonger (Aasheim, 2006). Elementene kan være både lastbærende og ikke-lastbærende komponenter. Grunnet god dimensjonsnøyaktighet er også heissjakter, trappesjakter og tekniske sjakter (for eksempel mesanin) gunstig å utføre i massivtre (Borgström og Fröbel, 2017, s. 21). Erfaringer viser at massivtreelementer sees hensiktsmessig i bygninger med cellebasert struktur slik som studentboliger og omsorgsboliger, delvis grunnet større grad av «masseproduksjon» og repeterbarhet (Asplan Viak, 2016; Wahlstrøm, 2018). Massivtreelementer har etter hvert blitt vanlig å bruke også i landbruksbygg og industribygg, som for eksempel fjøs og fabrikker.

2.1.4 Elementtyper

Massivtreelementer er en fellesbetegnelse på lameller (planker) i tre som er satt sammen til hele elementer. Lamellene holdes sammen av spiker, skruer, tredybler, stålstag eller lim (Time *et al.*, 2008). Lamellene er ofte av gran, men kan også bestå av andre tresorter, som for eksempel furu (Stora Enso, 2016). Lamellene er normalt av konstruksjonsklasse C14-C30. Det er ønskelig med høyest konstruksjonsklasse i de ytre og langsgående sjiktene av elementet (Aasheim, 2006). Det finnes tre hovedtyper av massivtreelementer.

Krysslaminerte elementer
Den vanligste formen til bruk i bygninger i dag er krysslaminerte elementer, også kalt flersjiktselementer, krysslimte elementer, kl-tre eller KLT (Byggforskserien 520.205; Østnor, 2018).

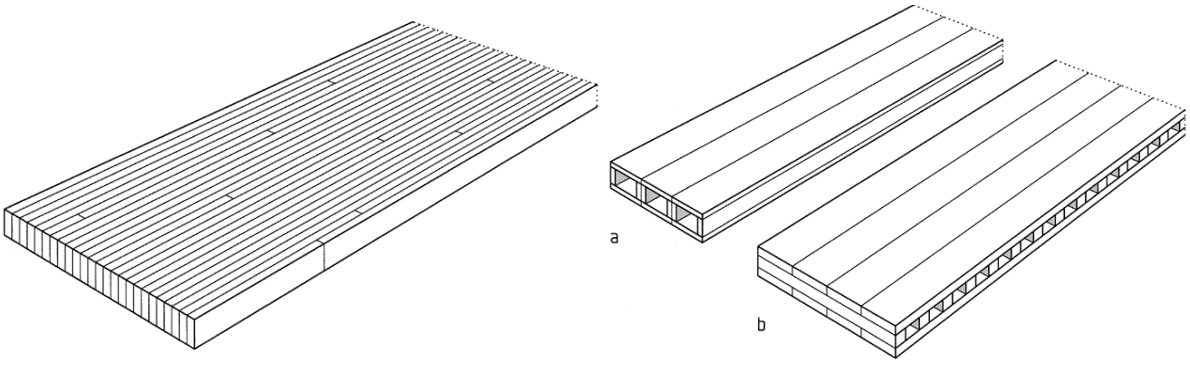
Krysslaminerte elementer er en fellesbetegnelse for elementer hvor lamellene er satt sammen i flere sjikt, vanligvis 45 eller 90 grader i forhold til hverandre. Det vanligste er at elementene holdes sammen av liming av lamellagene og eventuelt kantliming av lamellskjøter på enten 2 eller 4 sider. Elementene kan også holdes sammen av tredybler. Antall krysslagte sjikt varierer vanligvis mellom 3, 5, 7 eller 9 lag, noe som gjør at tykkelsen på elementet typisk er 60 - 320 mm (Aasheim, 2006; Stora Enso, 2016).



Figur 2.2 – Krysslimte elementer i fem sjikt *(Edvardsen og Ramstad, 2014, s.99)*

Stående elementer og hulromselementer
Lamellene kan også settes sammen stående på høykant, til stående elementer eller bordstabel elementer. Før ble stående elementer benyttet til bygningsformål (Byggforskserien 520.205), men i dag er de vanligere å benytte til andre konstruksjonsformål, som for eksempel i trebruer (Aasheim, 2006).

Lamellene kan også settes sammen som hulromselementer også kalt kasseelementer. Elementene er ikke massive, men høy treandel gjør at de likevel klassifiserer som massivtreelementer. Hulrommene fylles typisk med isolasjon eller er egnet til å være kanaler for tekniske føringer (Aasheim, 2006).



Figur 2.3 – Stående element og hulromselement *(Byggforskserien 520.205)*

2.1.5 Sentrale egenskaper

I tillegg til massivtreets evne til å ta opp karbondioksid (CO_2) og binde dette som karbon i trevirket gjennom dets levetid, trekker litteraturen fram flere andre miljøfordeler ved bruk av massivtreelementer. Grunnet tilgang på restmateriale under tilvirkningsprosessen (sagspon og trerester), vil produksjon av massivtreelementer bruke lite fossilt brensel i produksjonsfasen, sammenlignet med stål og betong (Borgström og Fröbel, 2017, s. 12, 15). Produksjon av stål og betong krever mye energi sammenlignet med produksjon av massivtre, og forårsaker betydelige klimagassutslipp (Skullestad, Bohne, og Lohne, 2016). Som omtalt i *Fokus på tre nr. 58* vil bruk av massivtreelementer også bidra til bærekraftig materialbruk, grunnet muligheten for gjenbruk og utnytting av trevirket gjennom levetiden (Tellnes, 2015). Det er gjerne ved å benytte bæresystem i massivtre, til fordel for stål og betong, at man ser de største miljøgevinstene i livssyklusanalyser (LCA-beregninger) (Borgström og Fröbel, 2017, s. 13; Skullestad, Bohne og Lohne, 2016).

Litteraturen trekker også fram følgende sentrale egenskaper for massivtreelementer:

- Hurtig produksjon på byggeplass (Espinoza *et al.*, 2016; Brandner, 2013).
- Høy dimensjonsstabilitet og nøyaktighet (lave toleranser) gjør materialet gunstig også til bruk i ombygging og rehabilitering (Brandner, 2013).
- Lav egenvekt på elementer, i størrelsesorden 450-550 kg/m^3 (Borgström og Fröbel, 2017, s. 39).
- Fleksibel tilpasning av ulike elementer etter behov. Elementene leveres med bredder på inntil 3,5 m, lengder på inntil 16 m, og med tykkelse opp til 320 mm (Stora Enso, 2016). Dimensjonene begrenses i størst grad av transportmulighetene (Edvardsen og Ramstad, 2014, s. 99).
- Totalt sett bedre HMS på byggeplass, sammenlignet med betong (Østnor, 2018).

2.2 Hygroskopiske egenskaper til trevirke

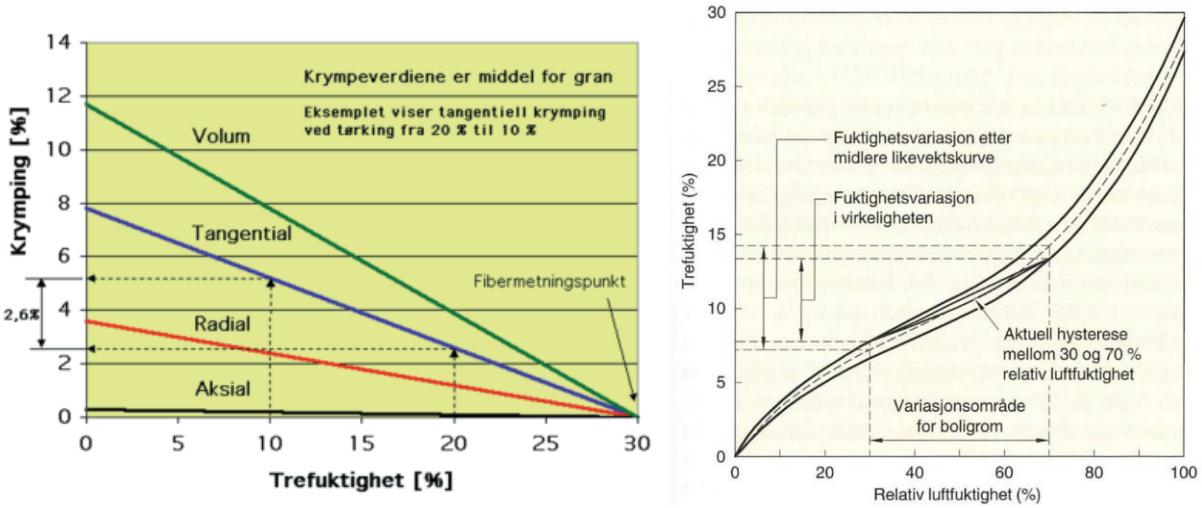
For å forstå tre som byggemateriale og dets oppførsel i bygninger kreves tverrfaglig innsikt. Som vist i *Fokus på tre nr. 38* er treverkets hygroskopiske oppførsel sentral grunnet dets sammenheng med blant annet treverkets vekt, styrke, og krymping og svelling (Tronstad, 2006). Dette er et omfattende og tverrfaglig tema som omhandler avansert treteknikk på cellenivå kombinert med teori for fukttransport i bygninger. Dette delkapittelet forsøker å kort belyse temaet.

2.2.1 Trevirke

Siden tre er et organisk materiale, kan fuktig treverk gi gode vekstvilkår for mugg- og råtesopper hvis fuktinnholdet overstiger 20 %. Mugg- og råte i treverk går ut over materialets bestandighet (Tronstad, 2006; Edvardsen og Ramstad, 2014, s. 91). Det ønskes derfor å redusere fukt i trekonstruksjoner.

Trevirke er bygd opp av hule celler som i rå tilstand mer eller mindre er fylt med fritt vann. Det er også bundet vann i celleveggens byggesteiner (mikrofibriller) (Tronstad, 2006). Små åpninger i celleveggene muliggjør væsketransport mellom cellene. At tre er et hygroskopisk materiale, vil si at det har evnen til å ta opp og avgi fuktighet til lufta, avhengig av luftas temperatur og relative luftfuktighet (RF). Ved stabile forhold vil derfor fuktinnholdet i trematerialet være i likevekt med omgivelsene rundt (Tronstad, 2006). Trefuktighet er forholdet mellom massen av vannet og massen av trevirket i absolutt tørr

tilstand i et stykke tre, uttrykt i prosent (Tronstad, 2006). Her omtales trefuktighet som fuktinnhold. Når treverket har et fuktinnhold på mellom 0 % og 28-30 % (fibermetningsinnholdet), vil treverket krympe og svelle avhengig av om det tørker ut eller tar opp fukt, som følge av væsketransport i cellene. Som vist i *Fokus på tre nr.* 40 avhenger størrelsen på deformasjonen av fibrenes orientering (Skaug, 2007).



Figur 2.4 – Krympeverdier og likevektsfuktighetskurve for treverk (Tronstad, 2006; Edvardsen og Ramstad, 2014, s. 92).

Når treverk brukes som konstruksjonsmateriale vil det typisk tørke fra en levert fuktighet på 12-17 % til 6-8 % (Edvardsen og Ramstad, 2014, s. 91). Normale fuktighetsverdier og tørkeforhold fører vanligvis ikke til store utfordringer for et massivtreelement i konstruksjonssammenheng, men for hurtig krymping kan føre til oppsprekking i treverket (Glass *et al.*, 2013). Sprekker oppstår på grunn av høye strekkspenninger på tvers av fiberretningene. Spenningene skyldes forskjell i tangentiell og radiell krymping eller forskjell i fuktighetsgradienter (Tronstad, 2006). Forhold som gir rask uttørking er lav RF kombinert med høy temperatur og høy lufthastighet (Tronstad, 2006).

2.2.2 Massivtreelementer og fukt

Vanndampmotstanden til treverk avhenger av fuktinnhold og relativ fuktighet i omgivelsene. Ved fukting av treverket synker vanndampmotstanden, og fuktighet transporteres raskere. Tilsvarende når treverket tørker, vil fuktighet transporteres saktere (Tronstad, 2006). Grunnet adaptive dampmotstand vil treverkets SD-kurver ha noe liknende natur som smarte dampsperrer.

Ved variasjoner i fuktinnhold i massivtreelementets omgivelser, vil treverket enten avgi eller ta til seg vanndamp. Trevirkets adaptive dampmotstand gjør at massivtreelementer tåler variasjoner i fuktinnhold og fuktpåkjenninger under normale byggeforhold (Glass *et al.*, 2013). Forsøk viser at det er først og fremst de ytre sjiktene som opptar fukt og at det skal mye til før fuktinnholdet inne i elementene overstiger kritisk nivå, siden fuktinnholdet her innen tilstrekkelig tid tørker tilbake til akseptable verdier (McClung *et al.*, 2013). Dette forutsatt at elementene har mulighet til å tørke ut. Et tørt massivtreelement med tykkelse 160 mm, har SD-verdi i størrelsesorden 10-15 m (Time *et al.*, 2008). I følge Byggforskserien 573.121 oppnås tilstrekkelig damptetthet hvis et sjikt har SD-verdi over 10 m. SD-verdi er et mål på ekvivalent luftlagstykkelse som angir hvor tykt et stillestående luftlag må være for å ha samme vanndampmotstand som materialsjiktet, og har meter som enhet (Byggforskserien 573.121). Vanndamp fra

inneluft utgjør derfor ikke en fare i seg selv hvis elementet er tykt nok. Kritiske tilfeller oppstår når store mengder byggfukt blir innebygd, uten muligheten til å tørke ut (Time *et al.*, 2008). I internasjonal litteratur, trekkes det fram at massivtreelementenes evne til å ta til seg vann i flytende form på grunn av kapillærsug, gir større fuktighetsvariasjoner sammenlignet med vann i dampform (Glass *et al.*, 2013).

I en tørkesituasjon, for eksempel under prøvedrift av et bygg, vil det være stor variasjon i elementets fuktinnhold. Store variasjoner kan gi uheldige dimensjonsforandringer, og sprekker kan oppstå. Resultatene i Skogstad, Gullbrekken og Uvsløkk (2011) viser at graden av oppsprekking avhenger av graden av kantliming mellom sjiktene. Stor grad av liming av lammelskjøter i elementet, vil derfor føre til at oppsprekkingen reduseres noe. Det er usikkerhet rundt hva slags konsekvenser oppsprekking av elementer får for ivaretakelse av en lufttett konstruksjon over tid (Skogstad, Gullbrekken og Uvsløkk, 2011).

2.3 Fuktsikkerhet i bygninger

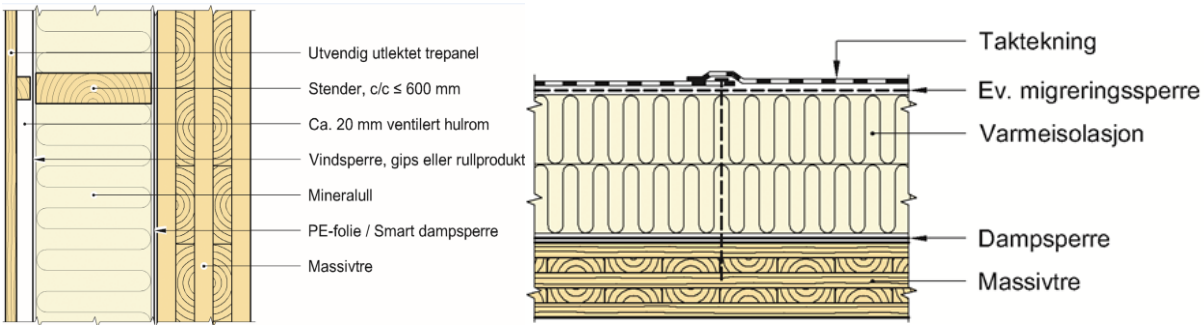
Delkapittelet presenterer generell teori om fuktsikkerhet i bygninger sett i sammenheng med massivtrekonstruksjoner. Væskestrømning (vannlekkasjer) og fuktighet i grunnen er ikke gjort rede for.

2.3.1 Krav til bygninger

Fuktrelaterte skader utgjør betydelige utfordringer for norske bygg. Plan- og bygningsloven og byggteknisk forskrift (TEK17) stiller derfor krav til helse, miljø og sikkerhet for alle bygninger (Gullbrekken og Elvebakk, 2018).

Som antydet, er det ikke ønskelig med fuktakkumulasjon i ytterkonstruksjoner over tid, grunnet faren for utvikling av mugg- og råtesopper (Tronstad, 2006). Fullstendig eliminering av fuktighet er vanskelig. Tiltak og strategier for å beskytte konstruksjonen mot kilder til fuktakkumulasjon og fuktskader er derfor viktig, både under byggeprosessen og under byggets levetid. Fukttransport i en konstruksjon kan skje både i form av vanndamp og flytende vann (Byggforskserien 421.132). Figur 2.6 viser ulike kilder til fukt for en bygning.

En konstruktiv bygningsdel er alene ikke tilstrekkelig for å tilfredsstille krav som stilles til energieffektivitet og fuktsikkerhet i byggteknisk forskrift (TEK17) (Gullbrekken og Elvebakk, 2018). Dette gjelder også ved bruk av massivtreelementer i yttervegg og tak. Tiltak i form av isolering og tetting på utvendig side av selve massivtrekonstruksjonen må derfor gjøres. Under vises eksempler på basis vegg- og takkonstruksjoner med massivtre.



Figur 2.5 – Eksempel på basiskonstruksjoner med massivtre (Gullbrekken og Time, 2016; Byggforskserien 525.207)

2.3.2 Fukttransport ved diffusjon og konveksjon

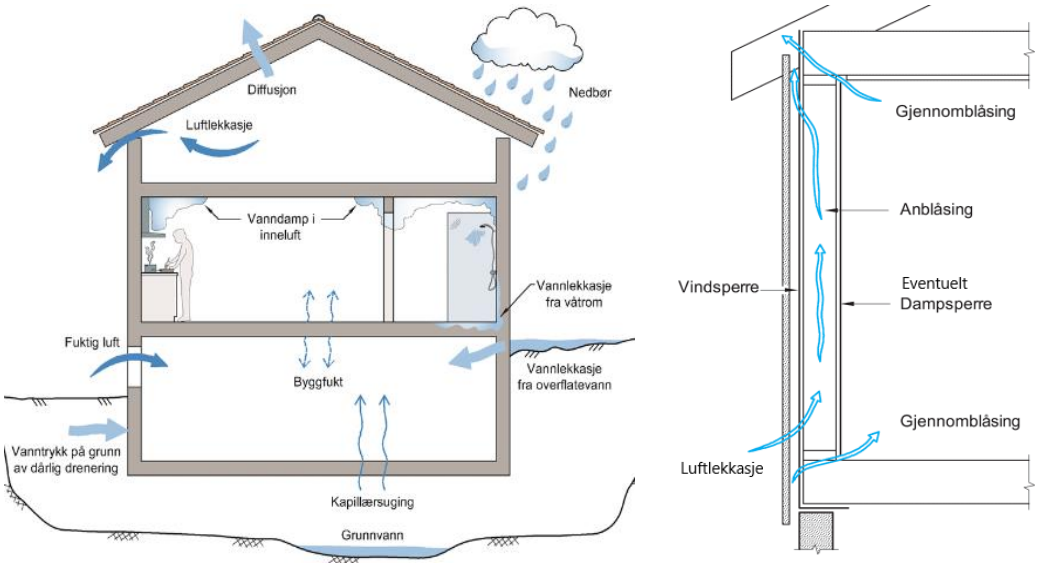
Fuktig inneluft transporteres utover i en konstruksjon hvor det er lavere damptrykk. Det er risiko for kondens og fuktakkumulasjon når fuktig luft når duggpunktstemperaturen i ytre sjikt av konstruksjonen. Dette kan skje både ved vanndampdiffusjon gjennom materialsjikt, og ved luftlekkasjer gjennom utettheter i konstruksjonen. Det er derfor ønskelig å hindre vanndampdiffusjon og konveksjon i en ytterkonstruksjon (Byggforskserien 421.132). Som tiltak for å hindre at fuktigheten blir transportert ut i veggen, blir det i tradisjonelle bindingsverkskonstruksjoner benyttet en dampsperre på varm side av isolasjonen (Time *et al.*, 2008). Dampsperre er et materialsjikt med SD-verdi over 10 m. Jamfør kapittel 2.2 blir det ofte stilt spørsmål til hvorvidt det er behov for et slik sjikt i ytterkonstruksjoner i massivtre. Dampbrems (SD-verdi 2-5 m), smart dampsperre og vindsperre er alternative sjikt som brukes i massivtrekonstruksjoner (Gullbrekken og Elvebakk, 2018).

Ettersom fukt også kan transporteres med luft gjennom luftlekkasjer i konstruksjonen må bygninger være tilstrekkelig lufttette, og vindtette for gjennomblåsing (Byggforskserien 421.132). Fukt transportert ved konveksjon utgjør normalt en større risiko for fuktskader enn for fuktskader ved diffusjon (Time *et al.*, 2008). Lufttette bygninger over tid er nødvendig for å unngå utilsiktede luftlekkasjer som fører kald luft inn i konstruksjonen, som igjen gir økt oppvarmingsbehov (Byggforskserien 421.132). Bygningsteknisk forskrift (TEK17) stiller derfor i § 14-2 og § 14-3 krav til bygningers lufttetthet og luftlekkasjetall (Direktoratet for byggkvalitet, 2019a).

For å oppnå tilstrekkelig luft- og vindtette bygninger bør det benyttes et vindtett sjikt (vindsperre) på utvendig side av isolasjonssjiktet i en konstruksjon. Sjiktet er dampåpent for å gi uttørkingsmuligheter utover i konstruksjonen (Byggforskserien 523.255). Hvis dampsperre benyttes på varm side av isolasjonen, vil denne bidra til konstruksjonens tetthet fra innsiden. Hvis det ikke benyttes dampsperre, kreves andre tiltak for å sikre innvendig tetthet (Byggforskserien 520.401). For massivtreelementer er innvendig tetthet kritisk, selv om forskning viser at elementene er tette ifra 3 sjikt og oppover (Stora Enso, 2016). Grunnet deformasjoner og oppsprekking i massivtreelementer som følge av fuktighetsvariasjoner, kan luftlekkasjer forekomme i overganger og gjennomføringer (Glass *et al.*, 2013; Stora Enso, 2016). Luftlekkasjene er kritisk, siden de kan føre til fuktakkumulasjon i konstruksjonen hvis den fuktige innelufta kondenserer i konstruksjonen.

2.3.3 Fuktpåkjenninger utenfra

Nedbør, overflatevann, bruksvann og oppsug av vann i materialer er typiske eksempler på flytende vann som lekker inn i konstruksjoner, se figur 2.6. Vann i flytende form er en større årsak til muggvekst og skader på treverk i konstruksjoner, sammenlignet med vanndamp (McClung *et al.*, 2013). Tilstrekkelig sikring mot vanninntrenging utenfra er derfor svært viktig og avgjørende for varig fuktsikkerhet. Normalt oppnås tilstrekkelig sikring i fasaden gjennom prinsippet totrinnstetting (Byggforskserien 542.003). Vindsperren er en sikkerhet hvis vannet trenger bak kledningen, hvor vannet ledes nedover i luft- og dreneringsspalten.



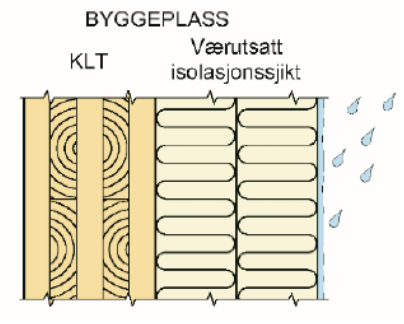
Figur 2.6 – Fuktkilder i bygninger og kilder til luftlekkasjer (Byggforskserien 700.117; Byggforskserien 573.121)

2.3.4 Byggfukt

Byggfukt er vann i konstruksjonen som er tilført materialene enten under produksjon, transport eller bygging, og som må tørkes ut når bygningen er i bruk. Som følge av byggfukt kan det oppstå uønskede effekter som fuktskader, inneklimaproblemer og forsinkelser i framdrift (Byggforskserien 474.533). Det er vanskelig å eliminere byggfukt fullstendig, men strategier for håndtering og tiltak i byggeprosessen er viktig for å redusere mengden. Sentrale prinsipper utdypes i Byggforskserien 474.533.

Innebygd fukt som ikke får mulighet til å tørke ut er kritisk for massivtrekonstruksjoner (Glass *et al.*, 2013). Metoden for oppføring av massivtrekonstruksjoner er omdiskutert grunnet muligheten for å få tilført byggfukt. Vanligvis skjer oppføring av massivtrekonstruksjoner ved at bærende elementer monteres først, for så og isoleres og kles på byggeplassen (Gullbrekken og Elvebakk, 2018). Slik vil elementet og eventuelt isolasjonen være utsatt for oppfukting på grunn av regn og snø, som vist i figur 2.7. Det er også kritisk dersom vann står direkte inntil elementenes endeved og gir svelling og misfarging på grunn av kapillærsug (Gullbrekken og Elvebakk, 2018). Usikkerhet på grunn av byggfukt i massivtrekonstruksjoner sees i sammenheng med elementenes fuktinnhold før lukking og uttørkingsforhold i konstruksjonen. Det er viktig å sørge for at elementene er tilstrekkelig tørre før konstruksjonen lukkes. Ved bruk av sperresjikt er det dårlige uttørkingsforhold, og elementenes fuktinnhold må være tilstrekkelig lavt for å

unngå mugg- og råtesopper (McClung *et al.*, 2013). Om elementene har høyt fuktinnhold, bør konstruksjonen utføres damp-åpen og tillatte uttørking (Glass *et al.*, 2013).



Figur 2.7 – Værutsatt massivtreelement og isolasjonssjikt (Gullbrekken og Elvebakk, 2018)

2.3.4 Uenighet rundt bruk av sperresjikt

Aspektene som er gjort rede for legger det teoretiske grunnlaget for diskusjonen om hvorvidt det skal brukes et dampsperresjikt i ytterkonstruksjoner med massivtre. Det diskuteres hvorvidt den variable dampmotstanden til elementene gir tilstrekkelig sikkerhet mot fuktakkumulasjon hvis konstruksjonen har gode uttørkingsmuligheter. Om konstruksjonen er lufttett, trekkes dette fram som tilstrekkelig sikkerhet mot fuktskader. Det er også argumenter for at dimensjonsendringer og medførte luftlekkasjer, samt normale fuktpåkjenninger gjør det nødvendig med dampsperre mellom massivtreelementet og varmeisolasjonen. I tillegg blir tilført byggfukt i byggeprosessen trukket fram som avgjørende for hvorvidt dampsperresjikt skal benyttes.

2.4 Brannsikkerhet og akustikk

Selv om temaene ikke har hovedfokus i oppgaven, gis en kort introduksjon i tilknytning til massivtre. Dette skyldes næringens fokus og utfordringer i forbindelse med brannsikkerhet og akustikk i bygg med massivtre.

2.4.1 Massivtre og brannsikkerhet

I henhold til brannteori er ubehandlet trevirke klassifisert som brennbart materiale (Byggforskserien 520.320). Brennende massivtreelementer forkulles lagvis, og kan bidra til brannutviklingen (Borgström og Fröbel, 2017, s. 133). Massivtreelementer og andre treskiver klassifiseres derfor typisk D-s2, d0 (Friquin *et al.*, 2019). Klassifiseringen betyr at det er et brennbart materiale med begrenset røykutvikling og ingen utvikling av brennende dråper (Byggforskserien 520.320).

I en brannsituasjon kan mengden eksponert og ubeskyttet tre ha betydning for omfanget og varigheten av en brann (Friquin *et al.*, 2019). Siden det i Norge er et ønske om å ha synlig massivtre, er det utfordrende å tilfredstille brannkrav når massivtre benyttes i fleretasjes bygninger (Reitan, Friquin og Mikalsen, 2019). Massivtre kan uten store utfordringer benyttes i enebolig, rekkehus, bygninger på inntil 4 etasjer, og som svalgangsdekke i bygg med inntil 2 etasjer (Friquin *et al.*, 2019).

I henhold til TEK17 §11 kan tilfredsstillese av brannkrav oppnås på to måter, enten ved dokumenterte løsninger eller ved analyse og beregninger (Direktoratet for byggkvalitet, 2019b). I henhold til veiledningen til TEK17 er bruk av brennbare konstruksjoner i bygninger i brannklasse 3 ikke en dokumentert løsning (Reitan, Friquin og Mikalsen,

2019). Også for gjennomføringer finnes få dokumenterte løsninger (Friquin *et al.*, 2019). I henhold til norske byggeregler medfører mangel på dokumenterte løsninger utfordringer når massivtre benyttes i bygninger på 4 etasjer eller mer (Reitan, Friquin og Mikalsen, 2019). Tilstrekkelig sikkerhet ved brann i fleretasjes bygninger i massivtre, må derfor ofte tilfredsstilles ved analyse.

Ved bærende komponenter i massivtre må redusert lastkapasitet, som følge av forkulling, bestemmes. Kravene for tillatt synlig massivtre avhenger også av tenkt brannforløp, og hvorvidt bruk av massivtre påvirker brannforløpet. For eksempel kan det være en eksponert vegg uten at dette påvirker brannforløpet (Friquin *et al.*, 2019). Ved flere eksponerte vegger og eventuelt himling, kan strålig mellom overflatene bidra til å holde liv i brannen. Regelverket begrenser bruken av materialet. Blant annet gjennom kravet til kledningers brannbeskyttende evne (K) i rømningsveger og i bygninger i risikoklasse 6, hvor det ikke tillates synlig massivtre (Reitan, Friquin og Mikalsen, 2019).Festemidler mellom elementer må også ha tilstrekkelig gode brannegenskaper, og må tas hensyn til ved prosjektering (Friquin *et al.*, 2019). Ellers er hulrom i konstruksjonen, overganger og tetthet ved gjennomføringer utfordrende ved bruk av massivtre i bygninger. Det bør fokuseres på å oppnå robuste løsninger som er mindre sårbare for feil i utførlsen og skader i bruksfasen (Reitan, Friquin og Mikalsen, 2019).

Foreløpig er det gjort lite norsk forskning på massivtreelementer i forbindelse med brann, men nye retningslinjer og håndbøker vil komme (Friquin *et al.*, 2019). I flere land pågår det forskning om hvordan man kan oppnå tilredsstillende brannsikkerhet i massivtrebygninger. Dette vil etter hvert danne grunnlag for oppdatert regelverk og verktøy for risikomodellering (Reitan, Friquin og Mikalsen 2019).

2.4.2 Massivtre og akustikk

Massivtreelementer benyttes både i etasjeskiller (dekkekonstruksjon mellom to boenheter) og i skillevegger. Massivtreets lydisolerende egenskaper byr på utfordringer ved prosjektering og ved tilfredsstillelse av krav for strengere lydklasser. Lav egenvekt gir generelt dårlige lydisolasjonsegenskaper for både trinnlyd og luftlyd. Dette medfører at skillekonstruksjoner i massivtre må utføres med en tilleggskontruksjon på minst en av sidene av elementet. Å øke flatevekten til en etasjeskiller er ofte et nødvendig tiltak, og oppnås enten med påstøp av betong eller sand på oversiden av elementet. (Homb og Hveem, 2011). Erfaringer viser at for å tilfredsstille krav til lydisolasjon mellom boenheter, er det nødvendig med isolerende tiltak på både over- og undersiden av massivtreelementet (Homb og Time, 2019). Unntaket hvor det ikke er behov for tilleggskontruskjoner, er internt i boliger der det ikke stilles lydkrav til skillekonstruksjoner (Byggforskserien 522.891).

En skillekonstruksjon må tilfreddstille krav til feltmålt luftlydsreduksjonstall R_w' og trinnlydisolasjon $L'_{n,w}$ (Byggforskserien 522.891). For skillekonstruksjoner (for eksempel etasjeskiller) må det rettes oppmerksomhet også mot koblingen mellom skillekonstruksjonen og de øvrige bærekonstruksjonene. Dette fordi lydoverføring i koblinger (flanketransmisjon) kan være avgjørende for den totale lydisolasjonsevnen (Byggforskserien 522.891). Flanketransmisjon sees særlig kritisk for skillekonstruksjoner i massivtre, særlige ved synlige overflater (Homb og Time, 2019). I etasjeskillere kan flanketransmisjonen reduseres noe ved å ha elastiske opplagere i elementer som er montert vinkelrett på hverandre (Homb og Time, 2019). Utforing av vegger i tilknytning skillekonstruksjonen vil også redusere flanketransmisjonen.

3 Diskusjon av metode

Oppgavens metode er presentert i konferansepaperene i vedlegg 3 og 4. Kapittelet inneholder diskusjon og betraktninger til metodearbeidet i oppgaven, både begrunnelse for beslutninger underveis og tilnærming i utførelse. Dette er typisk forhold som på grunn av sidebegrensing ikke er medtatt i paperene. Det anbefales å lese vedlegg 1-8 før dette kapittelet.

3.1 Oppgavens oppbygging

Oppgavens oppbygging ble valgt til fordel for en «klassisk» masteroppgave, grunnet ønske om å utarbeide forskning som er lettere presentabelt og tilgjengelig for næringen. Oppbyggingen er også delvis naturlig, ettersom studien består av noen klare skiller i tid og bruk av metode. Et eksempel på dette er at fordypningsprosjektet gjorde intervjuer, mens masteroppgaven gjorde et dokumentstudium og kvalitetssikring. Å skille ut deler av arbeidet og presentere i egne tekster er derfor mulig.

Oppgavens oppbygging er noe utradisjonell og medfører enkelte utfordringer. I tillegg til at oppgavens bestanddeler til sammen utgjør en masteroppgave, skal de hver for seg også være selvstendige tekster. Som selvstendige tekster skal innholdet presenteres på en slik måte at det ikke er nødvendig å lese de andre delene. Tekstene kan derimot vise til de andre bestanddelene som et valgfritt alternativ for mer informasjon om emnet. Tekstene kryssrefererer derfor til hverandre. Balansering av innholdet i de ulike tekstene er krevende, siden innholdet til en viss grad henger sammen. Eksempler på dette er konferansepaperene hvor innholdet i *Methods for Creating CLT Construction Guidelines* (vedlegg 4) baseres på funn og metode fra *Experiences with CLT Construction in Norway* (vedlegg 3). For at tekstene skal være selvstendige, er det nødvendig med gjentakelse av enkelte definisjoner, fenomener, teoretiske forklaringer, og avgrensinger. Dette merkes først ved lesing av oppgaven som helhet. Lite eksisterende norsk litteratur om massivtre får konsekvenser for bruk av referanser i oppgaven. I enkelte tilfeller er funnene i fordypningsprosjektet eller i deler av oppgaven eneste kilde til innholdet som presenteres. I disse tilfellene vil det forekomme kryssreferering.

3.2 Kvalitativ tilnærming og objektivitet

Metodearbeidet består enkeltvis av tradisjonelle og velkjente studiemetoder. Både intervjuer, dokumentstudier og kvalitetssikring er tradisjonelle og ofte anvendte metoder i klassisk *case study research* (Yin, 2009). Den kvalitative tilnærmingen, samt å benytte næringen som hovedkilde til informasjon, fører til at metodearbeidet oppleves noe utradisjonelt. Beslutningsprosesser som gjøres i arbeidet, baserer seg i stor grad på kvalitative vurderinger, både utvelgelse av aktører og analyse av innsamlet informasjon. I fordypningsprosjektet gjøres en kvalitativ utvelging av litteratur og aktører. Det er gjort et bevisst valg på å forsøke å involvere personer hos aktørene som har *hands-on*-erfaring med bygging med massivtre. I dokumentstudiet gjøres en kvalitativ analyse og sortering av dokumentene som brukes som grunnlag for utarbeidelse av byggdetaljer. Etter hvert som arbeidet pågikk, opparbeidet det seg et kontaktnettverk det var naturlig å benytte seg av. I kvalitetssikringsprosessen er derfor anvisningen utsendt til 25 valgte

personer. Årsaken til at disse personene ble valgt har bakgrunn i deres kunnskap om massivtre.

Sett i sammenheng med flere kvalitative vurderingsprosesser, er det enkelte forhold rundt arbeidets objektivitet som bør betraktes. Studiet har hatt et ønske om å bevare objektivitet i vurdering av resultater og funn, blant annet gjennom å dekke flere temaer utover fokusområdet i både intervjuer og i anvisningen. I løpet av studiet har, som nevnt, mer enn 25 aktører vært involvert. Gjennom arbeidet har undertegnede erfart at det også i næringen er flere som er skeptiske til enkelte forhold ved bruk av massivtre. Selv om aktørene er valgt ut, er dette personer som ikke er udelt positive til bruk av massivtre. Det relativt store utvalget av aktører og personer som deltar, bør gjøre funnene representative og dermed også tilstrekkelig objektive. En må da forutsette at de tilbakemeldinger som er gitt i kommunikasjon mellom personer i næringen og undertegnede er ærlige, og uten påvirkning av den opparbeidede relasjonen.
Arbeidet har heller ikke hatt som mål å underbygge og forklare fordeler med bruk av massivtre. Oppgaven forsøker snarere å kartlegge de utfordringer som finnes, og hvordan disse kan håndteres og løses på beste måte. Oppgaven tar ikke stilling til spørsmål hvorvidt det bør brukes massivtre eller ikke, men forutsetter at denne beslutningen er tatt.

3.3 Næringen som informasjonskilde

Dialog med næringen har ligget i oppgavens premiss helt ifra begynnelsen i fordypningsprosjekt. Selv om det ikke er et offisielt samarbeid, har kommunikasjon med næringen vært viktig for oppgaven. Å benytte næringen som informasjonskilde ble raskt sett på som nødvendig, grunnet lite eksisterende norsk litteratur som omtaler emnet. Næringen er blitt brukt som informasjonskilde for både å kartlegge kunnskapshull og fylle dette med relevant etterspurt litteratur. Både gjennom intervjuene og dokumentstudiet ble det samlet inn store mengder informasjon. Ved å ta utgangspunkt i tradisjonelle studiemetoder, var det likevel mulig å sortere og analysere innholdet på en strukturert måte. Opparbeidede relasjoner med bakgrunn i kontaktnettverket har vært avgjørende for lettere å få tilgang til informasjon. I masteroppgaven var det derfor ønskelig å fortsette informasjonsinnsamlingen, men da i form av dokumenter. Næringens interesser ivaretas gjennom hele studiet, ved at aktørene mot slutten av arbeidet, bidrar i kvalitetssikringsprosessen av anvisningen. Slik har aktører kunne påvirket deler av resultatet, for å kunne opprettholde oppgavens og anvisningens relevans for næringen.

3.4 Veiledning fra forskningsmiljøer

Formålet med oppgaven, har påvirket tilnærmingen i metodearbeidet. Manglende anvisninger om massivtre fra SINTEF Byggforsk, gjorde det til et mål å lage en anvisning i et format som er lik en anvisning i Byggforskserien. Med lik oppbygging og presentasjon som en anvisning i Byggforskserien vil resultatene fra oppgaven være i et format som er kjent for næringen. Samtidig er det demonstrasjon og en klar oppfordring til SINTEF Byggforsk til å utvikle oppdaterte anvisninger.

Grunnet valg av format, var det ønskelig å få innspill fra SINTEF Byggforsk til både utforming og arbeidsmetode. Tidlig i prosessen ble det derfor avholdt et veiledningsmøte hvor prinsipper som brukes for å utarbeide en anvisning, ble forklart. Både faglige og redaksjonelle forhold ble utdypet. Særlig ble prinsippet om kvalitetssikring av innholdet sentralt. I arbeidet forsøkes det å bevare prinsippene ved å ha dialog med næringen,

samt ved å motta jevnlig veiledning og innspill fra representanter i SINTEF Byggforsk og oppgavens veileder.

Tilnærmingen til Byggforskserien fått konsekvenser for oppbygging, utforming og skriftspråk. En byggforskanvisning skal ha et instruerende, tydelig og kort språk (Sintef Byggforsk, 2015). Eksempelvis skal det forklares *hva* man skal gjøre, men ikke alltid *hvorfor* man skal gjøre det. Ordlyden er ivaretatt gjennom tilgang til Byggforskserien sine skriveregler. En anvisning skal også bruke få referanser. Dette gjenspeiles i anvisningen, hvor det er brukt færre referanser og en annen kildeføringsstil, enn hva som brukes i denne kappen. Disse faktorene gjør at en anvisning skiller seg ut og står i kontrast til andre akademiske og vitenskapelige tekster. Tilnærming til Byggforskserien har også hatt konsekvenser for utarbeidelse av byggdetaljene som er utarbeidet. Det er forsøkt å etterligne den velkjente «streken» i Byggforskserien. AUTOCAD 2018 ble valgt som tegnedatavare, grunnet dens kompatibilitet med byggdetaljer, samt undertegnedes ferdigheter i programvaren.

Ettersom en anvisning i Byggforskserien presenterer dokumenterte løsninger til byggteknisk forskrift (TEK17), er det viktig at den utarbeidede anvisningen ikke blir til forveksling lik en anvisning hvor Byggforskserien er avsender. For å unngå uheldige misforståelser om anvisningens avsender og legalitet, forsøkes det å understreke at det ikke er en Byggforskanvisning. Det er derfor ikke brukt symboler som kan knytte anvisningen i oppgaven til Byggforskserien. I anvisningen påpekes det også at anvisningen er utarbeidet som en del av denne masteroppgaven.

4 Diskusjon av resultater

Kapittelet inneholder betraktninger og diskusjon av enkelte forhold rundt resultatene i oppgaven. Dette er typisk forhold som på grunn av sidebegrensing, eller format ikke kunne medtas i de aktuelle tekstene. Det anbefales at vedleggene 1-8 leses før dette kapittelet.

4.1 Konfidensintervall

Fra oppstart til avslutning har studiene pågått i 9 måneder. Aktørene som har bidratt er sentrale i norsk byggenæring, og alle har erfaringer med massivtre. Selv om aktørene er valgt ut kvalitativt, bør utvalget være så stort at funnene er representative for dagens massivtresituasjon i den norske byggenæringen. Aktørene har forskjellige preferanser og erfaringer med bygging i massivtre. Forskjeller i retningslinjer for foretrukket utførelse forekommer. Kvalitativ bearbeidelse av informasjon, medfører derfor at det er hovedtrekk i informasjon og meninger representeres i de ulike delene av oppgaven. Avveininger for å gjengi representative løsninger, har derfor vært krevende. Særlig gjelder dette i anvisningen, både i den skrevne informasjonen og i illustrasjonene som er utarbeidet.

4.2 Dokumentstudiet

Grunnet sidebegrensing for *Methods for Creating CLT Construction Guidelines* (vedlegg 4), ble det ikke plass for å gi fullstendig oversikt over innsamlet data. En oversikt over innsamlede dokumenter vises derfor i tabellen under. Aktører og prosjekter er anonymisert. Detaljene fra aktør 10 var i stor grad monteringsbeskrivelser og ble delt på en digital plattform. Grunnet høyt antall dokumenter, ble det ikke foretatt en sortering av detaljene fra aktør 10.

Tabell 4.1 - Oversikt over innsamlede dokumenter

Aktør	Bygningstype	Bygg-detaljer	Monterings-detaljer	Andre dokumenter	Sum	Kommentar
1	Fabrikk	4	-	8 *	12	* Branntettingsdetaljer
2	Undervisningsbygg	18	-	-	18	
3	Undervisningsbygg	9	-	-	9	
4	Leilighetsbygg	10	29	-	39	
5	Undervisningsbygg	110	-	-	146	Ikke forhåndssortert
	Undervisningsbygg	36	-	-		
6	Ukjent	-	8	-	8	
7	Undervisningsbygg	10	-	-	47	
	Undervisningsbygg	37	-	-		
8	Undervisningsbygg	2	36	-	38	
9	Undervisningsbygg	55	-	-	55	
10	Leilighetsbygg	-	-	-	*	* Tilgang til all prosjektdata
11	-	-	-	36*	36	* Premissdokument
SUM		**291**	**73**	**45**	**408**	

Jamfør *Methods for Creating CLT Construction Guidelines* ble relativt få byggdetaljer klassifisert som svært aktuelle for utarbeidelse av egne detaljer til anvisningen. Det påpekes at dette delvis skyldes at detaljene er hentet fra andre prosjekter enn eneboliger. Dersom det tidlig i studien hadde vært fokus på å hente inn detaljer fra boligprosjekter og eneboliger i massivtre, ville dette antakelig ført til at flere aktuelle detaljer ble samlet inn. Grunnen til at dette ikke ble gjort, var begrenset kjennskap til boligprosjekter i massivtre, i tillegg til ønsket om å fortsette kommunikasjonen med de kjente aktørene. Inntrykket er også at det foreløpig ikke er særlig utbredt med eneboliger i massivtre, og at det er usikkert hvorvidt det utarbeides detaljsett i disse prosjektene.

Som vist i tabell 1, er det kun 2 av de 12 prosjektene som er boligprosjekter. Likevel vil detaljer fra andre prosjekter være nyttige. Dette skyldes at prinsipper knyttet til for eksempel innfesting av elementer, statikk og bygningsfysikk er like, uavhengig av bygningstype. Bygningstype får større påvirkning for forhold som for eksempel estetikk, lydisolasjon og brannsikkerhet. Analyse av byggdetaljer fra andre typer prosjekter er derfor godt egnet å bruke som grunnlag for å utarbeide egne illustrasjoner og anbefalinger. Dette gjenspeiles i at detaljer fra andre bygningstyper enn leilighetsbygg var godt representert blant de 30 utvalgte aktuelle detaljene.

4.3 Kvalitetssikringsprosessen

Etter utarbeidelse av et utkast til anvisningen ble 27 kjente personer kontaktet med hensikt å kvalitetssikre innholdet i anvisningen. 26 personer svarte i løpet av kort tid at de ønsket å bidra. Et utkast ble derfor sendt ut, med mulighet for å komme med tilbakemeldinger innen en periode på 3 uker. Da tidsfristen utgikk, hadde 15 personer sendt sitt svar. Lengre periode for å komme med tilbakemeldinger hadde antakelig gitt flere respondenter, ettersom flere personer hadde meldt interesse. Dette var ikke mulig grunnet undertegnedes tidsfrist for innlevering av oppgaven. Etter å ha mottatt tilbakemeldingene ble de gjennomgått i samarbeid med oppgavens veileder.

Kvalitetssikringen resulterte i mer enn 100 kommentarer på spesifikt innhold i punkt 1 til punkt 4 i anvisningen. Dette var typisk kommentarer til faglige og språklige formuleringer. Disse ble i stor grad tatt hensyn til, og innholdet ble ytterligere spesifisert og reformulert for å unngå misforståelser. Det ble også lagt til relevant informasjon. Et eksempel på tillagt informasjon er muligheten for å bruke trefiberisolasjon som varmeisolasjon. Trefiberisolasjon var ikke nevnt i utkastet. Byggdetaljene i punkt 5 samlet også over 80 kommentarer. Ofte var kommentarene rettet mot byggeteknikk generelt og hadde ikke videre sammenheng med bruk av massivtre. Eksempel på dette er kommentarer til fall på beslag og riktig bruk av klemlister. Kommentarer på bruk av massivtre gjaldt i stor grad valg av innfestingsmetode. Punkt 5 ble gjennomgått i en egen prosess, og kommentarene førte ofte til endring av detaljen. I andre tilfeller ble de foreslåtte alternativene foreslått i innledningsteksten over detaljen. Enkelte kommentarer til punkt 5 ble ikke tatt hensyn til. Et slikt eksempel er at flere aktører anbefalte bruk av trykkfaste isolasjonssystemer istedenfor påfört bindingsverk. At trykkfaste isolasjonssystemer anbefales kan ha sammenheng med at dokumentene som er samlet inn ofte representerer større prosjekter hvor trykkfaste isolasjonssystemer er mer aktuelt, grunnet raskere montering. I kapittel 4.4.2 beskrives hvorfor detaljene i anvisningen likevel viser løsning for påfört bindingsverk.

Resultatet av dokumentstudiet og kvalitetssikringen sier noe om behovet for mer veiledende litteratur om massivtre. Dokumentene og kommentarene som er gitt viser at

det fortsatt er usikkerhet rundt enkelte temaer i forbindelse med bygging med massivtre, for eksempel bruk av sperresjikt, innfesting og håndtering av byggfukt. Her er det flere tilnærminger og formeninger om hva som gir mest fuktsikker og rasjonell utførelse. Dette indikerer også at det finnes mer enn *en* optimal løsning, og at den mest hensiktsmessige utførelsen varier fra prosjekt til prosjekt.

4.4 Anvisningen

4.4.1 Ung byggemetode

Massivtre som byggemetode er fortsatt i startfasen. Beskjedne erfaringer med enkelte metoder og prinsipper, skaper usikkerhet rundt hvorvidt de er gunstige med tanke på for eksempel framdrift og bygningsfysikk. Dette skyldes begrenset dokumentasjon og erfaringer med at løsningene er bærekraftige og langsiktige. Eksempler på slike benyttede løsninger er for eksempel byggetidstekking på dekker, teiping av elementskjøter, trykkfaste isolasjonssystemer og bruk av ulike sperresjikt. Likevel må en være klar over at i mangel på velutprøvde, analyserte og dokumenterte løsninger, er løsningene den beste praksisen som finnes i dag. I framtiden, når det foreligger et større informasjonsgrunnlag med mer erfaring og dokumentasjon, er det antakelig behov for å oppdatere retningslinjer og hva som er anbefalte løsninger. Anvisningen vil da måtte gjennomgå en revisjon. Løsningene presentert i anvisningen, er derfor representative og reflekterer den beste praksisen for bygging med massivtre i Norge i dag. Fenomenet gjelder ikke bare for massivtre, men generelt for alle byggemetoder som utvikler seg med tiden. Det er også derfor det sees behov for en oppdatert anvisningen om bygging med massivtre, ettersom håndboken Aasheim (2006) oppleves delvis utgått.

4.4.2 Innhold

Anvisningen tar utgangspunkt i en enebolig på maksimalt tre etasjer, og avgrenser seg til å omhandle utførelse som gir fuktsikre konstruksjoner og en rasjonell framdrift. Enebolig er valgt som utgangspunkt, siden det gir mindre strenge krav til akustikk og brannsikkerhet. Statikk er vurdert ut fra generelle betraktninger og analyse av litteratur og detaljer. Det er ikke prosjektert og beregnet statisk belastning for et komplett bygg. I utarbeidelsen er det lagt stor vekt på å gjengi realistiske dimensjoner, selv om dette ikke fremkommer gjennom målsetting i detaljene. Realistisk oppbygging ivaretas ved gjengivelse av forholdsmessig riktige og realistiske dimensjoner på bærende komponenter i figurene.

Valg av enebolig som utgangspunkt, får konsekvenser for valg av løsninger i anvisningen. Løsninger som beskrives er det som er tenkt å være mest hensiktsmessig for en enebolig. For større prosjekter vil annen utførelse kunne være mer gunstig. Et eksempel på dette er valg av isolasjonssystem. Valgt løsning i detaljer (påfört bindingsverk) avviker fra hva flertallet av innsamlede dokumenter benytter, og tilbakemeldinger fra kvalitetssikring anbefaler. Det som er mest utbredt og anbefalt er trykkfaste isolasjonssystemer. Ettersom det ofte finnes monteringsanvisninger for trykkfaste isolasjonssystemer, er det nyttig å vise utførelse for påfört bindingsverk. Ettersom anvisningen tar utgangspunkt i en enebolig, er gjort et bevisst valg, slik at detaljene fortsatt viser løsning for påfört bindingsverk.

Selv om enebolig benyttes som utgangspunkt, vil flere av prinsippene likevel kunne benyttes for større bygninger. Eksempler på prinsipper som er aktuelle uavhengig av bygningstype er for eksempel krav, prinsipper for prosjektering, håndtering av byggfukt

og oppbygging for å oppnå en fuktsikker konstruksjon. Et annet eksempel er detaljen i punkt 5.3, som viser etasjeskiller med påstøp. Dette er et tiltak som ikke er nødvendig for en enebolig, men som kan være aktuelt for å håndtere høyere lydkrav i andre typer bygninger. Alle de 5 detaljene er derfor ment å være utgangspunkt for prosjektering i flere typer prosjekter. Flere steder i anvisningen er aktørenes erfaringer fra både prosjektering og utførelse gjengitt. Dette kan også tydeliggjøre for andre aktører, i hvilke typer prosjekter det kan være hensiktsmessig å bruke massivtre. Uavhengig av bygningstype, vil anvisningen kunne fungere som en sjekkliste både før beslutningen om å benytte massivtre tas, og før oppstart av et massivtreprosjekt.

4.4.3 Avgrensinger

I masteroppgavens oppstartsfase ble det vurdert hvilket formål anvisningen skulle tjene. Ettersom det finnes få anvisninger om massivtre, ble det vurdert å ha innhold som inkluderte for eksempel massivtreelementers materialegenskaper (antall lag, limtyper, etc.), statiske konstruksjonsprinsipper, monteringsoperasjoner og løsninger for akustikk og brannsikkerhet. Alle alternativene for mulig innhold, er nok en indikasjon på at en serie av massivtreanvisninger kan utvikles. Anvisningen i oppgaven omhandler et av disse temaene, og fungerer som en demonstrasjon på hvordan en anvisning kan se ut.

I hovedsak er det undertegnedes spesialiseringsområde gjennom studiet og ønsket fokusområde rundt fukt og framdrift som avgrenser innholdet i anvisningen. For å kunne få tilstrekkelig innsikt i et emne, og for at omfanget av anvisningen ikke blir for vidt, gjøres det ikke dyp analyse av temaer i de alternative forslagene. Enkelte av temaene, som for eksempel statiske konstruksjonsprinsipper og løsninger for akustikk og brannsikkerhet, omtales likevel på et generelt nivå i anvisingen, men gjerne med en praktisk innfallsvinkel. Temaene nevnes for å informere og gjøre leseren oppmerksom på enkelte forhold som må tas hensyn til. Der hvor det er mulig henvises det til hvor mer informasjon om temaet kan hentes. Et eksempel på dette er for etasjeskillere, hvor det blir henvist til Byggforskserien 522.891. Med samme hensikt er standardkapitler i andre byggforskanvisninger inkludert, som for eksempel produktdokumentasjon, CE-merking og toleranser. Disse er kort omtalt uten dypere behandling, men for å gjøre leseren oppmerksom på hva som er spesielt for temaet med tanke på massivtre.

4.5 Teknisk fagartikkel

Når det gjelder den tekniske fagartikkelen *Etterspurt massivtreanvisning* (vedlegg 8) må det påpekes at illustrasjonen som er med i den trykte artikkelen er en underveis-illustrasjon. Denne figuren er derfor ikke identisk med den tilsvarende detaljen som er med i punkt 5.2 i anvisningen. Dette skyldes dato for deadline til Byggeindustrien. I etterkant er det foretatt endringer som følge av mer kvalitetssikring. Endringene fra den trykte til den endelige versjonen er:

- Mer utvendig isolering på grunnmur. Dette er gjort for å gi en mer lufttett overgang mellom bindingsverk og ringmur. Utvendig vindsperre er derfor trukket lenger inn mot ringmur.
- Trykkfast isolasjon i golvkonstruksjonen er fjernet, ettersom denne ikke hadde noen spesiell funksjon. Den ville også vært kostnadsdrivende.
- Tilførsel av konveksjonssperre i bindingsverkssjiktet.

4.6 Bygningstekniske utfordringer

Av resultatene i fordypningsprosjektet, har masteroppgaven valgt å sette kunnskapshull og manglende litteratur i søkelyset. Dette ble valgt til fordel for kartlagte bygningsfysiske og bygningstekniske utfordringer. Likevel har innsamling av mer informasjon i form av dokumenter og undersøkelse av litteratur, ført til at det er gjort betraktninger rundt utfordringene som bør belyses. Funn i dokumentstudiet og utarbeidelse av anvisningen, forsterker indikasjonene om bygningstekniske og bygningstekniske utfordringer ved bygging med massivtre.

Både gjennom dokumentstudiet og kvalitetssikringsprosessen fremkommer det at forskjellige prinsipper benyttes for å ivareta fuktsikkerhet. Dette forsterker funnene i fordypningsprosjektet som indikerer et behov for mer veiledende litteratur om håndtering av byggfukt. I masteroppgaven følges utfordringen opp i anvisningen, hvor det legges retningslinjer og mer entydige anbefalinger for fuktkontroll i byggefasen. I tillegg beskrives anbefalt oppbygging av vegg og tak.

Det som i fordypningsprosjektet er kartlagt å være den største barrieren mot økt bruk av massivtre i Norge, er å tilfredsstille krav til brannsikkerhet og akustikk. Det ble også diskutert om regelverk kan tilpasses og tilrettelegge for økt bruk. En forutsetning er at tilpasning av regelverket ikke går ut over grunnleggende prinsipper for helse, miljø og sikkerhet for mennesker og bygninger. På den andre siden, må det også forskes på og kartlegge dokumenterte løsninger for massivtre som enklere tilfredsstiller kravene.

I denne forbindelse, må det nevnes at tilfredsstillelse av krav kan bli mindre krevende ved å fjerne fokus om at massivtre må være synlig. At massivtre skal være synlig i innvendig overflater er utbredt tanke i Norge, og gjenspeiles ved å studere byggdetaljer fra norske prosjekter. Ved undersøkelse av utenlandske håndbøker, ser man at byggdetaljer i svært liten grad har synlige og eksponerte massivtreoverflater. Internasjonalt brukes massivtre fordi det har andre positive innvirkninger på prosjektet, for eksempel produksjonstiden. Om man i Norge kan adaptere internasjonale holdninger, og godta at massivtre kan tildekkes med andre materialer og bli mindre synlig, kan krav til brannsikkerhet og akustikk bli lettere å oppfylle. Massivtre må derfor benyttes som byggesystem på bakgrunn av andre positive egenskaper. Eksempler på dette kan være bedre HMS på byggeplass og raskere montering. Det må dog tas i betraktning at økt antall materialsjikt reduserer miljøgevinsten og er fordyrende. Å redusere mengden byggematerialer er en generell utfordring i byggenæringen for å gjøre den mer miljøvennlig, og gjelder ikke bare ved bruk av massivtre. Det bør derfor likevel forskes på mulige tilretteleggelser i regelverket som kan føre til mindre materialbruk.

5 Konklusjon

Oppgaven hadde følgende hovedmål:

> *Å fylle et kunnskapshull om manglende norsk veiledende litteratur om bygging med massivtre med vekt på bygningsfysiske og bygningstekniske utfordringer*

Metoden viste seg å være nyttig for å nå målet og skapte engasjement i næringen. Metodearbeidet baserte seg på kommunikasjon med næringen og veiledning fra forskningsmiljøer. Næringen har gjennom det siste året bidratt med både å kartlegge og fylle kunnskapshull om bygging med massivtre. Å benytte næringen som informasjonskilde førte til store mengder innsamlet informasjon, både gjennom intervjuer og dokumentstudiet. Dette førte til krevende kvalitativ analyse og tolkning for å sortere ut den viktigste informasjonen. Samtidig er trianguleringen, å hente informasjon om massivtre gjennom både intervjuer, dokumentstudium og kvalitetssikring, viktig for å styrke funnene i arbeidet.

Dokumentstudiet viste at det var mulig å studere prosjektspesifikke detaljer og bruke disse som grunnlag for å utarbeide generelle detaljer. Dette til tross for at de innsamlede detaljene ikke var fra boligprosjekter. Dokumentstudiet viste også at internasjonal håndboklitteratur kan være en viktig informasjonskilde for å utarbeide byggdetaljer og retningslinjer for bygging med massivtre. Dette krever aktsom adapsjon til norsk klima og byggeskikk.

Arbeidet i oppgaven har vist at en anvisning er et egnet format for å samle erfaringer, og for å utvikle kunnskap gjennom tett kommunikasjon med næringen. En anvisning på et kjent format, som i Byggforskserien, har vært et viktig virkemiddel for å skape engasjement. Dette resulterte i en anvisning om bygging av massivtre. Formatet i anvisningen forsøker å ligne en Byggforskanvisning, både i oppbygging, skriftspråk og i tegnede illustrasjoner. Tilnærming til Byggforskserien har også skapt trygge rammer for arbeidet som er utført. Både prinsipper for utarbeiding og format i anvisningen, er inspirert av veiledning og innspill fra SINTEF Byggforsk. Et eksempel på dette er gjennomføring av kvalitetssikringsprosessen. Samtidig er den ikke til forveksling lik en anvisning i Byggforskserien, noe som er viktig for å unngå misforståelse om anvisningens opphav.

Anvisningens innhold fokuseres til å omhandle hvordan fuktsikker utførelse og en rasjonell framdrift oppnås. Gjennom detaljer vises anbefalt utførelse for yttervegg, etasjeskiller, vindusinnsetting og tak. Likevel beskrives andre forhold, for eksempel akustikk og brannsikkerhet, som kan være til hjelp i prosjektering og utførelse av andre prosjekter. Anvisningen er derfor en demonstrasjon på hvordan en anvisning kan utarbeides. Studiet har vist at bygging med massivtre er et omfattende tema som ikke kan oppsummeres i *en* anvisning. Ifølge kvalitetssikringsprosessen, vil anvisningen kunne dekke et kunnskapshull. Tilbakemeldinger fra aktører påpeker at anvisningen er et godt utgangspunkt, og viktig for å skape diskusjon om utvikling av ny og oppdatert litteratur om massivtre.

Om arbeidet som er gjort er direkte nyttig for næringen er noe uvisst, siden SINTEF Byggforsk har interne krav til kvalitetskontroll og dokumentasjon før noe kan publiseres i en anvisning. Forhåpentligvis er den utarbeidede anvisningen et positivt bidrag og til

inspirasjon for å utvikle oppdatert litteratur om massivtre. SINTEF Byggforsk har allerede vist interesse for arbeidet gjennom å gi oppmerksomhet, veiledning, og innspill underveis. Det er nå deres oppgave å fortsette arbeidet med å utvikle anvisninger som kan adopteres i næringen.

Siden løsninger i en anvisning fra SINTEF Byggforsk er dokumenterte løsninger som oppfyller byggteknisk forskrift (TEK17), vil en anvisning kunne føre til reduksjon av usikkerhetsmomenter rundt bygging med massivtre. Utvikling av en anvisning er derfor et viktig tiltak som kan føre til økt bruk av massivtre. Bygging med massivtre er et viktig bidrag til en mer miljøvennlig byggenæring. Oppdaterte retningslinjer er også viktig for å sørge for at framtidig bruk av massivtre er bærekraftig. For å utvikle oppdaterte retningslinjer kreves kompetanse. Kompetanse kan økes gjennom deling av erfaringer og kunnskap, slik som vist i oppgaven.

6 Forslag til videre arbeid

Kapittelet omtaler utvalgte temaer som av undertegnede sees på som viktige områder for videre forskning på massivtre. Dette er basert på undertegnes helhetsinntrykk av situasjonen for massivtre, og kunnskap opparbeidet det siste året. Ettersom deler av arbeidet har hatt fokus på å kartlegge kunnskapshull, sees et behov for forskning på massivtre. Listen under er derfor omfattende, og oppsummerer viktige forskningsområder.

- Arbeidet har vist at det trengs flere anvisninger om bygging med massivtre i Byggforskserien. Ettersom det i framtiden forventes økt bruk av massivtre, kan anvisninger i Byggforskserien være viktig for å legge retningslinjer for håndtering av bygningstekniske utfordringer. Det bør utarbeides en serie bestående av flere anvisninger, forutsatt tilstrekkelig kunnskap innenfor fagområdet. Eksempler på temaer som bør behandles i egne anvisninger er massivtre i forbindelse med: konstruksjonsprinsipper, brannsikkerhet, akustikk (Byggforskserien 522.981 er fra 2009), montering og byggfukt.

- Det bør forskes mer på fuktsikker utførelse for bygging med massivtre. Temaet er fortsatt omdiskutert, for eksempel hvorvidt det bør brukes sperresjikt for å oppnå en fuktsikker konstruksjon. I tillegg er det knyttet usikkerhet til at bygg i massivtre er tilstrekkelig lufttette over tid, grunnet krymp i massivtreelementene. Det trengs forskning på ulike kombinasjoner av tettemetoder, som gir tilstrekkelig tetthet over tid. Forskning på isolasjonssystemer, bruk av sperresjikt og heft ved bruk av tape, er nødvendig. Uheldige tilfeller av dårlig fukthåndtering kan bli skadesaker. Mer kunnskap og flere retningslinjer, kan redusere redselen knyttet til bygging med massivtre.

- I sammenheng med forrige punkt, bør det forskes på massivtreelementers oppførsel og varige fuktsikkerhet, gjennom forsøk i felt på bygninger i full størrelse. Hverken internasjonalt eller i Norge er det gjort forskning på bygninger i full størrelse. Vanligvis foregår forskningen i kontrollerte omgivelser på små testelementer i laboratorier. For å forstå den helhetlige oppførselen til massivtreelementer i bygg, bør en omfattende kartlegging i reelle prosjekter gjøres. Dette foreslås av undertegnede grunnet motsettende opplevelser angående bruk av sperresjikt, beskrevet i litteraturen og i næringen.

- Det som er kartlagt å være den største barrieren mot økt bruk av massivtre i Norge er å tilfredsstille krav til brannsikkerhet og akustikk. Dette er derfor to fagområder det bør forskes mer på. Særlig på brannsikkerhet finnes det svært lite norsk forskning. Det må forskes mer på muligheter for tilrettelegging og tilpasning av regelverket, hvor massivtre som byggemateriale er inkludert. En forutsetning er at tilpasninger i regelverket ikke går ut over grunnleggende prinsipper for helse, miljø og sikkerhet i bygninger. På den andre siden, må det også forskes på og kartlegges dokumenterte løsninger for massivtre som gjør det enklere å tilfredsstille kravene.

- Arbeidet har vist at det finnes relevant internasjonal litteratur og forskning på massivtre. Nærmere forskning på mulighetene for å tilpasse utenlandske løsninger til norsk klima og byggeskikk, vil være et viktig bidrag for å øke kunnskapsnivået.

- I forbindelse med forrige punkt, kan inspirasjon hentes fra internasjonal litteratur, for å fjerne fokus om at massivtre må være synlig. Redusert fokus på synlighet vil gjøre det enklere å oppfylle krav til brannsikkerhet og akustikk, men kan gå ut over miljøgevinsten. Det må derfor forskes på andre fordeler som kommer av å bruke massivtre som byggesystem. Eksempel på et område som hevdes å være fordelaktig ved bruk av massivtre, men uten videre dokumentasjon, er HMS på byggeplass og godt innemiljø. Om forskning skulle bevise at dette stemmer, vil det være et insentiv for næringen.

- En produktstandard er etterspurt i næringen. Mangel på en produktstandard er lagt fram som en barriere mot økt bruk i Espinoza (2016). Utarbeidelse av en produktstandard er viktig for enhetlig bruk av massivtre i næringen. Med en produktstandard vil prosjektering, materialoppførsel og utførelse kunne blitt mer forutsigbar. Forskning på en produktstandard er noe som må gjøres på internasjonalt nivå, ikke kun her i Norge. En standard er under utarbeidelse i Europa, men denne er foreløpig ikke godkjent, og status for den er usikker.

Referanser

Aasheim, E. (red.) (2006) *Håndbok – bygge med Massivtreelementer.* Teknisk håndbok nr. 1. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Asplan Viak (2016) *Bruk av massivtre i offentlige bygg*. Rapport. Svinesundkomiteen: *Byggmedtre*. Tilgjengelig fra: https://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1481729588/bruk-av-tre-i-offentlige-bygg.pdf (Hentet: 21.05.2019)

Borgström, E. og Fröbel, J. (2017) *KL-trähandbok – Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner.* Stockholm: Svenskträ

Brandner, R. (2013). Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report, *Focus Solid Timber Solutions - European Conference on Cross Laminated Timber (CLT).* Graz, 21. – 22. mai 2013. Bath: University of Bath, s. 3 - 36.

Byggeindustrien (2017). *Nordisk Massivtre åpnet ny fabrikk: - Timingen er ekstremt bra.* Tilgjengelig fra: http://www.bygg.no/article/1322815 (Hentet: 21.05.2019)

Byggforskserien 421.132 (2018) *Fukt i bygninger. Teorigrunnlag.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 470.101 (2014) *Livsløpsvurderinger (LCA) og byggevarer og bygninger. Innføring og begreper.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 474.533 (2018) *Byggfukt. Uttørking og forebyggende tiltak.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 520.205 (2001) *Massive treelementer. Typer og Bruksområder.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 520.320 (2017) *Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av bygningsdeler og* byggeprodukter. SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 520.401 (2013) Lufttetting *av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 522.891 (2009) *Etasjeskillere i massivtre.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 523.255 (2007) *Bindingsverk av tre. Varmeisolering og tetting.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 525.207 (2018) *Kompakte tak*. SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 542.003 (2013) *Totrinnstetning mot slagregn på fasader. Luftede kledninger og fuger.*

Byggforskserien 573.121 (2003) *Materialer til luft- og damptetting.* SINTEF Byggforsk.

Byggforskserien 700.117 (2018) *Undersøkelse av fuktskader i bygninger*. SINTEF Byggforsk.

Direktoratet for byggkvalitet (2019a) *Byggteknisk forskrift (TEK17): Kapittel 14 Energi.* Tilgjengelig fra: https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/ (Hentet: 22.05.2019).

Direktoratet for byggkvalitet (2019b) *Byggteknisk forskrift (TEK17): Kapittel 11 Sikkerhet ved brann.* Tilgjengelig fra: https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/innledning/ (Hentet: 23.05.2019).

Edvardsen K.I. og Ramstad T.Ø. (2014) *Trehus Håndbok 5*. Sintef Byggforsk – 2. opplag. Oslo: Sintef Akademiske forlag

Espinoza, O., Trujillo, V.R., Mallo, M.F.L. og Buehlmann, U. (2016) *Cross-Laminated Timber: Status and Research Needs in Europe*. (Bioresources 11(1) 2016, 281 – 295).

Friquin, L.K., Homb, A., Gullbrekken, L. og Time, B. (2019) *Brann og bygninger i massivtre*. Presentasjon. Kurs for Byggmesterforbundet Salten 20. - 21. mars 2019. Bodø: SINTEF Byggforsk

Glass, S.V., Wang, J., Easley, S. og Finch, G. (2013). *Enclosure Chapter 10: Building enclosure design for cross- laminated timber construction.* U.S. Edition. Canada: FP Innovations and Binational Timber Council. Tilgjengelig fra: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl_2013_glass001.pdf (Hentet: 22.05.2019)

Gullbrekken, L. og Elvebakk, K. (2018). *Kartlegging av kritiske områder ved prosjektering og utførelse av bygg med KLT-elementer (massivtre-elementer).* Rapport 2018:01400. Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Gullbrekken, L. og Time, B. (2019) *Byggetekniske løsninger, klimatilpasning og fukt*. Presentasjon. Kurs for Byggmesterforbundet Salten 20.-21. mars 2019. Bodø: SINTEF Byggforsk

Hauge, Å.L., Flyen, C., Almås, A.J. og Ebeltoft, M. (2017) *Klimatilpasning av bygninger og infrastruktur*. Klima 2050-rapport 04/2017. Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Homb, A. og Hveem, S. (2011) *Lydoverføring i byggesystemer med massivtre*. Prosjektrapport 80. Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Homb, A. og Time, B. (2019) *Lyd-løsninger og prinsipper for gode lydforhold*. Presentasjon. Kurs for Byggmesterforbundet Salten 20.-21. mars 2019. Bodø: SINTEF Byggforsk

Mallo, M.F.L. og Espinoza, O. (2014) *Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States*. (Bioresources 9(4) 2014, 7427-7443).

McClung, R., Ge, H., Straube, J. og Wang, J. (2013). *Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: field measurements and simulations*. (Building and Environment 71 (2014) 95-110).

Moelven (2018) *Mjøstårnet blir enda høyere.* Tilgjengelig fra: https://www.moelven.com/no/aktuelt-og-nyheter/nyhetsarkiv/2018/mjostarnet-blir-enda-hoyere/ (Hentet: 13.05.2019)

NSB2020 (2019) *12th symposium on Building Physics*. Tilgjengelig fra: https://nsb2020.org/ (Hentet: 14.05.2019).

Regjeringen (2014) *Miljøvennlige boliger og bygg.* Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/no/tema/plan-bygg-og-eiendom/plan--og-bygningsloven/bygg/innsikt/byggkvalitet/miljovennlige-boliger-og-bygg/id2345447/ (Hentet: 13. 05.2019)

Regjeringen (2017) *Markedet for massivtre er i sterk vekst*. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/markedet-for-massivtre-er-i-sterk-vekst/id2578870/ (Hentet: 13.05.2019)

Reitan, N.K., Friquin.K.L og Mikalsen, R.F. (2019). *Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger – en litteraturstudie*. Research Institutes of Sweden 2019:09.

SINTEF Byggforsk (2015) *Skriveregler Byggforskserien og Byggebransjens våtromsnorm*. Intern rapport. SINTEF Byggforsk

SINTEF Byggforsk (2019) *Hva er byggforskserien*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien (Hentet: 14.05.2019)

Skaug, E. (2007). *Fokus på tre nr. 40. Trevirkets oppbygging og egenskaper.* Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Skogstad, H.B., Gullbrekken, L. og Uvsløkk, S. (2011) *Massivtre – Luftgjennomgang og behov for sperresjikt*. Prosjektrapport 81. Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Skullestad, J.L., Bohne, R.A. og Lohne, J. (2016). *High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Altarnatives*. (Energy Procedia 96 (2016) 112 – 123).

Slapø. F. (2017) *Kvalitetsvariasjon I murverk som følge av vannmengde i mørtelen*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Stora Enso (2016) *Stora Enso CLT Teknisk Brosjyre*. Stora Enso: Stora Enso Wood Products GmbH. Tilgjengelig fra: http://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/Technical-brochure-CLT-NO.pdf (Hentet: 10.05.2019)

Teibinger, M. og Matzinger, I. (2013) *Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings Focus on Building Physics*. Wien: Holzforschung Austria

Tellnes, L.G.F. (2015). *Fokus på tre nr. 58. Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter*. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Teknisk ukeblad (2015). *I dag åpner verdens høyeste trehus* (09.12.2015). Tilgjengelig fra: https://www.tu.no/artikler/i-dag-apner-verdens-hoyeste-trehus/276298 (Hentet: 13.05.2019)

Teknisk ukeblad (2017). *Behovet for massivtre i været – bygger ny fabrikk for å møte etterspørselen* (10.08.2017) Tilgjengelig fra: https://www.tu.no/artikler/behovet-for-massivtre-i-vaeret-bygger-ny-fabrikk-for-a-mote-ettersporselen/398843 (Hentet: 21.05.2019)

Teknisk ukeblad (2019). *Splitkon åpner verdens største massivtrefabrikk* (07.05.2019) Tilgjengelig fra: https://www.tu.no/artikler/splitkon-apner-verdens-storste-massivtrefabrikk-br/464045 (Hentet: 21.05.2019)

Time, B., Geving, S., Friquin, K.L., Grynning, S., Noreng, K. og Sandland, K.M. (2008) *Tak basert på massivtreelementer*. Prosjektrapport 30. Trondheim: SINTEF Byggforsk.

Trebruk (2017) *Markedsanalyse massivtremarkedet i Norge 2017 – 2024*. Vestby: Trebruk AS. Tilgjengelig fra: http://arenaskog.no/wp-content/uploads/2017/06/markedsanalyse-massivtre-280217.pdf (Hentet: 21.05.2019)

Tronstad, S. (2006). *Fokus på tre nr. 38. Trefuktighet – tørking.* Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Wahlstrøm, S. (2018) *Erfaringer med bygging i massivtre*. Fordypningsoppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Yin, R. K. (2009) Collecting Case Study Evidence, i Yin, R.K. (red.) *Case Study Research*. 5 utg. United States of America: Sage Publications, s. 98-125.

Østnor, T. (2018). *Massivtre og Plasstøpt betong: en casestudie – forskjeller, erfaringer og forbedringspotensial*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Vedlegg

Vedlegg 1: *Bygging med massivtre*

Vedlegg 2: To whom it may concern – *Experiences with CLT Construction in Norway*

Vedlegg 3: *Experiences with CLT Construction in Norway*

Vedlegg 4: *Methods for Creating Construction Guidelines*

Vedlegg 5: Forfatterbidrag – *Erfaringer med bygging i massivtre*

Vedlegg 6: *Erfaringer med bygging i massivtre*

Vedlegg 7: Forfatterbidrag – *Etterspurt massivtreanvisning*

Vedlegg 8: *Etterspurt massivtreanvisning*

Bygging med massivtre

Dato: Mai 2019

Tilbygg av enebolig i massivtre. Foto: Hans Haug

Innhold

Denne anvisningen omhandler hvordan krysslaminerte treelementer (KLT) kan brukes i bygninger. Det er særlig fokus på utførelse som er gunstig for å få en fuktsikker konstruksjon og en rasjonell fremdrift.

Anvisningen tar utgangspunkt i eneboliger på inntil tre etasjer hvor KLT-elementer blir brukt i alle bygningsdeler, men prinsipper og løsninger kan også benyttes av rådgivere og entreprenører til prosjektering og utførelse av større prosjekter. Det vises detaljer og anbefalt utførelse av yttervegg, tak og vindusinnsetting med synlig massivtre som innvendig kledning.

Fordeler og ulemper knyttet til massivtre drøftes ikke i anvisningen. Det forutsettes at det er bestemt at massivtre skal benyttes. Særlige vurderinger i forhold til statikk, brann, og lyd er kun generelt omtalt. Prinsippene som vises kan brukes som utgangspunkt i andre bygninger, men spesiell prosjektering for å tilfredsstille funksjonskrav må påregnes. Detaljerte monteringsanvisninger, samt utdypende informasjon om ulike massivtreelementers oppbygging, blir ikke gjort rede for i anvisningen.

Etasjeskillere i massivtre er nærmere beskrevet i Byggdetaljer 522.891.

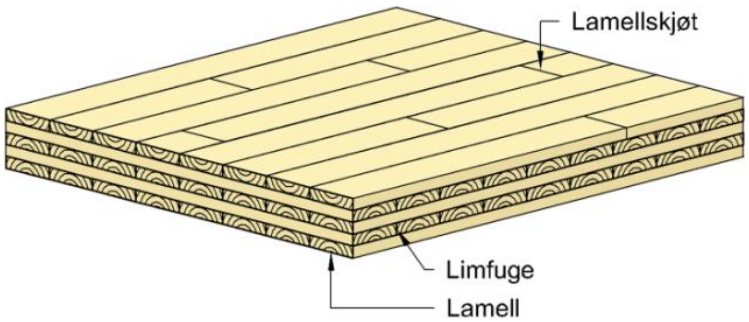
1 Forutsetninger

1.1 Krysslaminerte treelementer (KLT-elementer)

1.1.1 Historie
Utvikling av massivtreelementer til bygningsformål startet i Sentral-Europa på 1990-tallet. Likevel er det først de seneste 8-10 årene at krysslaminerte treelementer (KLT-elementer) er mer omfattende brukt til bygningsformål i Norge. I dag er KLT-elementer den vanligste formen for massivtreelementer til bygningsbruk, og det er derfor denne typen elementer det fokuseres på i anvisningen.

1.1.2 Massivtreelementer
Massivtreelementer er lameller (planker) i tre som er satt sammen til hele elementer. Lamellene holdes sammen av spiker, skruer, tredybler, stålstag eller lim. Det er mest vanlig å benytte lameller av gran, men også i kombinasjon med andre tresorter (for eksempel furu). Lamellene er typisk av konstruksjonsklasse C14-C30, hvor det av konstruktive hensyn er ønskelig med høyest konstruksjonsklasse i de ytre og langsgående sjiktene av elementene.

1.1.3 Krysslaminerte elementer
Krysslaminerte elementer (KLT-elementer) er en fellesbetegnelse for elementer hvor lamellene er satt sammen i flere sjikt, vanligvis 45 eller 90 grader i forhold til hverandre. I anvisningen forutsettes det at det benyttes limte elementer, men elementene kan også holdes sammen av tredybler. Mest utbredt er at lamellene holdes sammen ved hjelp av liming av lamellagene og eventuelt kantliming av lamellskjøter på enten 2 eller 4 sider. Antall krysslagte sjikt varierer mellom 3, 5, 7 eller 9 lag, og tykkelsen på elementene varierer fra 60–320 mm. Elementene kan fås i bredder på inntil 3,5 m, og lengder på opptil 16 m er vanlig. Dimensjonene begrenses i praksis av transportmulighetene. Når begrepet massivtre brukes heretter, siktes det til KLT-elementer.



Figur. 1.1.3
Krysslimte elementer i fem sjikt [651].

1.2 Miljøegenskaper

De positive miljøegenskapene er et hovedargument for å benytte massivtreelementer. Dette skyldes trevirkets evne til å ta opp CO_2 og binde dette som karbon i materialstrukturen gjennom levetiden, i tillegg til lave produksjonsutslipp [652]. Politiske og miljømessige interesser gjør derfor at det er ventet økt bruk av massivtre i fremtiden. Eventuelle positive innvirkninger på estetikk, produksjonstid, økonomi og bedre arbeidsmiljø på byggeplass, er også faktorer som påvirker beslutningen om hvorvidt det skal benyttes massivtre.

1.3 Byggesystem

1.3.1 Bruksområder
Massivtreelementer kan utgjøre inner- og yttervegger, sjakter til tekniske føringer, tak og etasjeskillere (dekker). Elementene kan være både lastbærende og ikke-lastbærende komponenter. Erfaringer viser at det er særlig hensiktsmessig å bruke massivtre som avstivende skiver i heis- og trappesjakter, og bærende

inner- og yttervegger. I tillegg til eneboliger er massivtre hensiktsmessig i større bygninger med cellebasert-struktur slik som studentboliger og omsorgsboliger [653].

1.3.2 Samvirke med andre materialer
I anvisningen forutsettes det at massivtre utgjør bæresystemet i form av innervegger, yttervegger, dekker og tak. Selv om massivtreelementer kan utgjøre alle typer bygningskomponenter, er det mulig å utføre enkelte konstruksjonsdeler i et annet materiale. For eksempel kan ikke-bærende inner- og yttervegger oppføres i bindingsverk. Det er også mulig å kombinere massivtre med ulike taktyper som hulldekke og lett-tak. Der hvor kombinasjoner brukes, må det foretas egne vurderinger med hensyn til bygningsfysikk og materialsamvirke. Anbefalinger og detaljer for ulike materialkombinasjoner er ikke behandlet i anvisningen.

1.3.3 Montering
I anvisningen forutsettes det at monteringen av massivtreelementer foregår med tilgang på kran med tilstrekkelig kapasitet til heising av elementer. Detaljene i anvisningen forutsetter at elementene monteres og festes til hverandre med skruer, spiker, stålplater og vinkelbeslag. Monteringstegninger og dimensjonering av innfesting må foreligge fra leverandør av massivtreelementene.

1.4 Dokumentasjon av produktegenskaper

For å kunne framstille, omsette, markedsføre og distribuere byggevarer stiller forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) krav til dokumentasjon av egenskaper og i mange tilfeller også CE-merking. Denne dokumentasjonen er ingen garanti for at byggevaren kan brukes i et byggverk.

For å kunne bygge produkter inn i byggverk må prosjekterende spesifisere hvilke egenskaper som er nødvendige for at det ferdige byggverket tilfredsstiller kravene i byggteknisk forskrift (TEK 17). Den som velger produkter, må se til at produktene har dokumentasjon på de egenskapene som er spesifisert. Tekniske godkjenninger dokumenterer egnethet for bruk i byggverk.

I dag eksisterer det ikke egen produktstandard for massivtreelementer. Spesifikke materialegenskaper til bruk i beregninger, for eksempel til statikk, brannmotstand og vanndampmotstand må hentes fra hver enkelt leverandør.

1.5 Krav

I TEK17 § 2.2(1) er det gitt krav enten som *funksjonskrav* eller *ytelseskrav* innen alle vesentlige områder som helse, miljø, sikkerhet og tilgjengelighet. Der kravene til ytelser ikke er gitt i forskriften, skal oppfyllelse av funksjonskravene dokumenteres enten ved bruk av preaksepterte ytelser, eller ved analyse som viser at ytelsene oppfyller funksjonskravene i forskriften (TEK17 § 2.2(2)).

For massivtreelementer finnes få dokumenterte løsninger. Kravene i TEK17 må derfor ofte tilfredsstilles ved analyse. Anvisninger gitt i Byggforskserien anbefales som gode retningslinjer for utførelse i henhold til TEK17.

1.6 Toleranser

Toleranser for utførelse (for eksempel overflatekrav, retningstoleranser, planhetstoleranser), utføres i henhold til *NS 3420* dersom ikke annet er avtalt. Ofte angir byggherre krav til overflatekvalitet til massivtreelementer. Man bør derfor gjøre seg kjent med de ulike kvaliteter leverandører tilbyr, slik at kvaliteten på det som leveres er i henhold til det som er avtalt i kontrakten.

Byggherre kan stille spesielle krav til fuktinnhold i trevirke. Om ikke annet er avtalt kan retningslinjer for elementenes fuktinnhold ved materialets ankomst til byggeplass, lagring og før eventuell lukking følges i henhold til *NS 3516* eller leverandørens råd. I standarden fremgår det at forventet gjennomsnittlig

fuktinnhold i massivtre ved ankomst til byggeplass er 8–14 vektprosent. Fuktinnhold ved lukking avhenger av om konstruksjonen utføres med dampsperre og dermed har ensidig eller tosidig uttørking. NS 3516 angir at fuktinnholdet før lukking skal være under 20 vektprosent, men at en rekke forhold krever lavere fuktinnhold. Ved bruk av dampsperre på massivtre bør fuktinnhold før lukking være under 15 vektprosent for å redusere risiko for soppvekst.

2 Prosjektering

2.1 Planlegging

Det er en fordel om man så tidlig som mulig i en byggeprosess vet at det skal benyttes massivtreelementer. Tidlig bevissthet gjør at man kan ta hensyn til forhold ved prosjektering og bygging, noe som gir fordeler for produktivitet, framdrift og kostnad i prosjektet. Eksempler på grep som bør gjøres i en prosjekteringsprosess er:

- Elementene bør leveres med utsparinger fra fabrikk, men det krever at tekniske anlegg er prosjektert ferdig ved bestilling av elementene. Dette gir effektiv framdrift, men forutsetter riktig og nøyaktig prosjektering tidlig i prosjektet.
- Både kostnad og framdrift vil avhenge av utforming av elementene og måten elementene utgjør bygningen på. Graden av repeterbarhet på elementer og gjentakelser i bygningen bidrar til rasjonell produksjon. Ulike elementstrategier for oppbygging bør vurderes i tidlig fase.

Vanligvis benyttes og involveres egne massivtreleverandører eller spesialiserte prosjekteringsfirma for trekonstruksjoner. De ulike leverandørene tilbyr ofte forskjellige produkter og tjenester. Leverandør leverer ofte festemidler, utstyr og hjelp til montering. I tillegg tilbyr noen leverandører prosjektering av konstruksjonssikkerhet for massivtre og tilhørende festemidler. Det er derfor viktig å være bevisst på hva leverandøren tilbyr, og om dette inngår i tilbudet og leveransen.

2.2 Dimensjonering

2.2.1 Krav
Bygninger i massivtre skiller seg ikke fra andre bygninger med hensyn til grunnleggende krav til byggverkets lastbærende kapasitet og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand. Kravene kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter *NS-EN 1990 Eurokode Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner* og underliggende standarder i denne serien, med tilhørende nasjonale tillegg. Særlig aktuell er *NS-EN 1995 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner*.

2.2.2 Omfang
Dimensjonering av massivtrekonstruksjoner, inkludert festemidler, gjøres av ansvarlig RIB, eller statiker fra massivtreleverandør. Siden det ikke fins egen produktstandard for massivtreelementer må aktuelle verdier hentes spesifikt fra hver leverandør. Tekniske godkjenninger kan angi verdier til beregning av blant annet spennvidde, nedbøying og fastheter.

2.2.3 Erfaringer.
Ofte er det nødvendig å benytte andre materialer i kombinasjon med massivtre som bæresystem, for eksempel for å oppnå en tilstrekkelig stiv konstruksjon. Erfaringer viser at massivtre samvirker bra med andre materialer, men at en mer ensidig materialoppførsel fås når det er et rendyrket bæresystem i tre. Massivtre i kombinasjon med søyle- og bjelkesystem i limtre gir større frihet i konstruksjonen med hensyn til rominndeling. Fornuftig og håndterlig spennvidde med et dekkeelement i massivtre er omtrent 5,0-7,0 meter, men i kombinasjon med andre materialer kan større spennvidder oppnås. Massivtre oppleves som dimensjonsnøyaktig. Grunnet ulik bevegelse i forskjellige materialer, bør man derfor være oppmerksom på toleransekrav til utførelse av tilstøtende komponenter i materialoverganger og knutepunkter.

2.3 Fundamentering

Vurdering av byggegrunn og valg av fundamentering er behandlet i henholdsvis Byggdetaljer 511.204 og 521.011. Grunnet massivtreelementenes lave egenvekt vil bygninger med høy andel massivtre ha lavere egenvekt enn bygninger i for eksempel betong. Erfaringer viser at bygninger med utstrakt bruk av massivtre gir noe enklere fundamentering enn for tyngre konstruksjoner. Normalt brukes fundamentering i betong, lettklinker eller liknende i form av enten søylefundamentering, stripefundamentering eller platefundamentering. Lav egenvekt kan være en ulempe ved dimensjonering for jordskjelvsikring.

2.4 Radonsikring

Av helsemessige årsaker stiller TEK17 krav til radonsikring av bygninger, som medfører at nybygg ofte må utføres med radonsperre og eller radonbrønn. Radonsikring gjøres i henhold til Byggdetaljer 520.706.

2.5 Montering

2.5.1 Heising og rigg
Montering av massivtreelementer foregår med kran med tilstrekkelig kapasitet til å løfte elementenes vekt. Spesifikk vekt for elementene må oppgis av leverandør og er typisk i størrelsesorden 450-550 kg/m^3 [654]. System for løfting av elementer og tilhørende løfteanordning til heising må samhandles med leverandør. Vurderinger i forhold til HMS gjøres i forbindelse med SHA plan og monteringsstrategi. Riggplass må planlegges med hensyn til heising av massivtreelementer. Lett tilkomst og tilstrekkelig plass til kran for heising av elementene er viktig. Det kan være nødvendig med plass til omlasting av elementer.

2.5.2 Festemidler
Montering og innfesting av elementer varierer fra leverandør til leverandør. Til montering av både elementer og festemidler er det behov for egnet verktøy. Det er derfor viktig å påse at tegninger og instrukser for montering fremstilles av leverandør, og at festemidler samordnes med RIB og montør. Grunnet høy grad av spesielt tilpasset innfesting fra massivtreleverandørene gir ikke denne anvisningen detaljerte monteringsbeskrivelser.

2.5.3 Logistikk og forberedelser
God logistikk er avgjørende for prosjektets produktivitet. Leveransen av massivtreelementer bør planlegges nøye opp mot framdrift. Massivtreelementene bør lagres i kortest mulig tid på byggeplass, og oppbevares beskyttet mot nedbør og direkte sollys. For å oppnå høy produktivitet på monteringen, må nødvendige forberedelser gjøres. Elementene bør komme merket og i riktig rekkefølge fra leverandør. I tillegg kan det monteres bunnsvill og svillemembran som elementene kan monteres på (se detalj i pkt. 5.2). Dersom svillene er målt inn på forhånd slik at monteringen kan starte raskt, er det en stor fordel. Bunnsvill og/eller svillemembran begrenser kapillærsug i endeveden på elementet. Statisk belastning på bunnsvill må vurderes opp mot antall etasjer. Bunnsvill er derfor mest aktuelt i bygg med få etasjer, som for eksempel eneboliger.

2.6 Byggfukt

2.6.1 Utfordringer
Grunnet elementenes hygroskopiske egenskaper og mulige komplikasjoner på grunn av oppfukting (svelling og krymping), bør håndtering av byggfukt planlegges tidlig i byggeprosessen. God strategi med planlagte tiltak for håndtering av byggfukt og nedbør er avgjørende for å få en fuktsikker byggeprosess. Gjennom hele byggeprosessen anbefales det at elementene skjermes fra direkte kontakt med vann. Massivtreelementenes fuktinnhold ved innbygging er avgjørende for konstruksjonens uttørkingsmuligheter og risiko for fuktrelaterte skader på senere tidspunkter.

2.6.2 Beskyttelse mot vær
Høy kostnad og utfordrende logistikk på grunn av heising av elementer, gjør at værbeskyttelsessystemer (også kjent som WPS) i praksis er vanskelig å ta i bruk. Erfaringer viser at værbeskyttelsessystemer er kostnadsdrivende. Geografisk plassering, tilhørende klima og vær er avgjørende faktorer ved vurderinger rundt fuktsikker byggeprosess. Særlig utfordrende er områder med mye vind og slagregn.

2.6.3 Lagring og oppføring
Massivtreelementer bør lagres under tak, eller med tilstrekkelig tildekking for å skjerme mot nedbør. Elementene bør også skjermes for sollys dersom de er pakket inn i plast, grunnet mulighet for høye temperaturer, kondens og dermed soppvekst. God logistikk er avgjørende slik at elementene er kortest mulig tid på byggeplass i forkant av montering. Etter oppføring må elementene raskest mulig beskyttes mot oppfukting og regn. Elementer bør ikke bli stående i vann (for eksempel dekker). Lokal tildekking mot regn er aktuelt. Byggetidstekning på dekker og tak, eller større grad av prefabrikasjon er alternative løsninger som øker beskyttelsen av elementene mot vann [653].

2.6.4 Oppfukting
Generelt må konstruksjonen prosjekteres med hensyn til sannsynlige fuktbevegelser. Grunnet trematerialets lukkede porestruktur er det i endeveden av massivtreelementet tar opp mest fukt. Følgelig er det også her man får størst krympe- og svelleeffekter. Tildekking av endeved er derfor viktig, for eksempel hvis det støpes inntil elementet. Ved støping benyttes vanntett sjikt mellom elementet og betongen. Elementer kan eventuelt settes inn med vannavstøtende produkter, men denne løsningen blir i liten grad benyttet.

2.6.5 Kvalitetssikring og drift
Kontroll av fuktighet i elementer må gjøres i henhold til ordinært kvalitetssikringssystem eller anbefaling fra rådgiver eller leverandør. Ved mistanke om oppfukting må det gjøres ekstra målinger, og eventuelt uttørkingstiltak iverksettes. Etter at bygget er i drift, tørker massivtreelementer typisk fra et fuktinnhold på 12–14 vektprosent til 6–8 vektprosent [654]. For å redusere oppsprekking av bordene i elementet bør tørking av massivtre skje så sakte som mulig. Byggtørke kan gi for hurtig uttørking og fare for oppsprekking av elementer. Undersøk derfor om det kan brukes andre innkjøringsmengder på ventilasjonsanlegget enn hva som er vanlig.

2.7 Varmeisolering

2.7.1 Varmeisolering
For å tilfredsstille forskriftskrav til energiforbruk og energieffektivitet må bygninger varmeisoleres i henhold til TEK17 § 14. Isolasjonstykkelser og U-verdier for ytterkonstruksjoner i massivtre som oppfyller kravene, finnes i Byggdetaljer 471.421. Spesifikk oppbygging, isolasjonssystemer og materialvalg for yttervegg og tak er omtalt i henholdsvis pkt. 3 og 4 og vist i detaljer i pkt. 5.

2.7.2 Kuldebroer
Generelt vil utvendig varmeisolering av massivtreelementer være gunstig for å minimere kuldebroer i bygningen. Ved utvendig varmeisolering får man kontinuerlig isolasjon og solide dekkeforkanter.

2.8 Lydisolering

2.8.1 Krav
Lydforhold og lydisolasjon må være tilfredsstillende i henhold til grenseverdier angitt i NS 8175. TEK17 angir kravene til lydforhold som overordnede funksjonskrav. Som angitt i veiledningen til TEK17, vil forskriftens intensjon være tilfredsstilt dersom man tilfredsstiller grenseverdiene til lydklasse C i NS 8175. Lydisolering av massivtrebygg kan være utfordrende. Forskriften setter ikke krav til lydisolasjon internt i en boenhet, men det er likevel ønskelig med gode lydforhold for å ivareta et godt inneklima. Løsninger som ivaretar gode akustiske forhold bør prosjekteres for hvert enkelt prosjekt.

Eksempler på horisontale lydskillekonstruksjoner finnes i Byggdetaljer 522.891. Tekniske brosjyrer fra leverandører kan også inneholde forslag til løsninger på både horisontale og vertikale lydskillekonstruksjoner.

2.8.2 Omfang
For akustikkmålinger og krav skilles mellom laboratoriemålte og feltmålte verdier. Forskriftskravene gjelder for de feltmålte verdiene da disse inkluderer lydtransmisjon via tilstøtende konstruksjoner. Feltmålte verdier er etterprøvbare, og måling kan kreves av byggherre eller bruker av bygget. Siden massivtrekonstruksjoner har lav egenvekt er de ofte utsatt for vibrasjoner, særlig ved lavere frekvenser. Ved målinger anbefales det at det tas hensyn til lavere frekvenser (under 100 Hz).

2.8.3 Erfaringer
Erfaringer viser at flanketransmisjon og tilstrekkelig trinnlydisolasjon er særlig utfordrende i massivtrekonstruksjoner. Konsekvensene er at det må tilføres ekstra materialsjikt på minst en av sidene av massivtreelementet. Ulempen med dette er at massivtreet ikke blir synlig. Ulike materialkombinasjoner bør vurderes for å få ønsket lydisolasjon. Andre eksempler på tiltak som kan gi bedre lydisolering er:

- Skillelist i elastomer mellom alle elementer som står 90 grader på hverandre. Skillelist må etterspørres og dimensjoneres av enten massivtreleverandør eller egen leverandør.
- Ved vertikalt lydskille på bakkenivå bør det brukes delte fundamenter eller bryte opp platefundament med isolasjonsstripe.
- Elastiske forbindere (for eksempel lydstendere) i vegger, dekker, og himling.
- Gjennomtenkt romløsning med hensyn til akustikk. Unngå å plassere to lydsensitive rom inntil hverandre.

2.9 Brannsikkerhet

2.9.1 Krav
TEK17 § 11 angir krav til brannsikkerhet og brannteknisk prosjektering. Her angis preaksepterte ytelser som ivaretar sikkerhet for brann. Enn så lenge finnes få dokumenterte løsninger med massivtreelementer som tilfredsstiller disse. Oppfyllelse av brannkravene i massivtrebygninger må derfor vises ved hjelp av analyse. Om sprinkleranlegg er nødvendig og aktuelt for bygningen, må vurderes i henhold til TEK17 § 11-14.

2.9.2 Erfaringer
Erfaringsmessig er det ikke særlig utfordrende for bygg i massivtre å tilfredsstille brannkrav i enebolig og i bygninger på inntil 4 etasjer. Hvis bygget er mer enn 4 etasjer, er det krevende å tilfredsstille brannkrav. Ved fleretasjes hus og flere boenheter må spesiell brannprosjektering påregnes i alle tilfeller. Særlig blir overflatekrav vanskelig å tilfredsstille. Dette skyldes blant annet at massivtre er klassifisert som brennbart materiale. For å tilfredsstille brannkrav må det tilføres ekstra materialsjikt i skillekonstruksjoner. Andre forhold som bør vies oppmerksomhet ved prosjektering er:

- Massivtreelement direkte eksponert for brann er mer kritisk i himling enn i gulv.
- Brennbar isolasjon i tak er i utgangspunktet ikke tillatt med mindre dette er godtatt av brannrådgiver med grunnlag i analyse.
- Strategi for å beskytte innfestingsmidler som skruer, bolter, vinkler og plater mot direkte branneksponering.
- Mangel på dokumenterte løsninger for gjennomføringer. Det er også usikkert hvor godt tradisjonelle branntettingsmaterialer fester seg til massivtreelementet. Det kan være aktuelt å ha et eget sjikt (f. eks gips) mellom massivtreelementet og branntetting i gjennomføringer, men dette er i praksis utfordrende på grunn av sirkulære gjennomføringer. Alternativt kan massivtreelementet primes eller brannmales før det branntettes.

3 Yttervegger

3.1 Fuktsikkerhet og lufttetthet

3.1.1 Utfordringer
Trematerialets hygroskopiske gjør at krymping og svelling kan forekomme i massivtreelementene avhengig av materialets fuktinnhold. Krymping ved tørking fører ofte til oppsprekking av lamellene i elementene. Oppsprekking kan gi uønskede luftlekkasjer ved at fuktig inneluft transporteres utover og kondenseres i veggen. Luftlekkasjer utgjør derfor en fare for fuktakkumulasjon i konstruksjonen, og kan også gi økt oppvarmingsbehov. Fuktig treverk over tid gir gode vekstvilkår for mugg- og råtesopper. Ivaretakelse av en fuktsikker konstruksjon er derfor nødvendig gjennom hele byggets levetid.

3.1.2 Sperresjikt
Et omdiskutert tema for ytterkonstruksjoner i massivtre er hvorvidt det skal benyttes dampsperresjikt mellom varmeisolasjonen og massivtreelementet. Materialets hygroskopiske oppførsel gjør at massivtre tåler variasjoner i fuktnivå. Likevel er det viktig at fuktinnholdet holdes utenfor et område som gir gode vekstforhold for mugg- og råtesopper. Hvorvidt det bør brukes sperresjikt vurderes i hvert tilfelle og avhenger av elementenes fuktinnhold ved lukking. Er elementene tørre (under 15 %) kan det benyttes dampsperre, men er elementene tydelig våte bør det ikke benyttes dampsperre [655].
Massivtreelementene må ikke bygges inne mellom to damptette sjikt. Alternativer til dampsperre mellom massivtreelement og varmeisolasjon er dampbrems, smart dampsperre og vindsperre (duk). Vindsperreduk er en utbredt løsning.

3.1.3 Lufttetthet
Det viktigste tiltaket for å få fuktsikker konstruksjon er at den er lufttett over tid. Med bruk av massivtreelementer oppnås ofte god lufttetthet. Det er derimot knyttet usikkerhet til konstruksjonens lufttetthet over tid, grunnet mulige luftlekkasjer som følge av tørking og dimensjonsendring av elementene [656]. For å oppnå tilstrekkelig lufttetthet bør elementskjøter teipes med bestandig teip. Hvis det ikke benyttes dampsperresjikt, er løsningen med vindsperreduk mellom massivtreelementet og isolasjonssjiktet aktuell. Denne vindsperra erstatter ikke den tradisjonelle vindsperra på utsiden av varmeisolasjonen, og bør derfor være så dampåpen som mulig. Slik fås en åpen løsning med gode uttørkingsmuligheter. Hvis det benyttes system for kontinuerlig isolasjon, vurderes behov for egen vindsperre utenpå varmeisolasjon med leverandør.

3.2 Konstruksjonsprinsipp

3.2.1 Oppbygging
Anbefalt rekkefølge på materialsjiktene i ytterkonstruksjoner fra innsiden og utover er: massivtreelement, eventuelt sperresjikt, varmeisolasjon, vindsperre og luftet kledning.

Det fins ulike prinsipper for utvendig varmeisolering av massivtreelementer. Uansett prinsipp må løsningene tilpasses slik at krav som stilles til fuktsikkerhet og energieffektivitet tilfredsstilles. Valg av system må også vurderes med hensyn på framdrift, montering og byggeteknikk (for eksempel med hensyn til vindusinnsetting og valg av fasade).

3.2.2 Bindingsverk
En vanlig løsning er å ha påfôrt bindingsverk med stendere i tre eller I-profiler. Ved en slik løsning må det benyttes vindsperre på utsiden av varmeisolasjonssjiktet for å minimere anblåsing i konstruksjonen. Trefiberisolasjon er et ofte benyttet alternativ til mineralullisolasjon. Løsningen gir muligheter for større grad av prefabrikkering av veggelementer før montering. Om stenderverket og isolasjonen monteres på elementene (på byggeplass) før de heises opp, vil dette kunne være en fordel for å redusere byggfukt. Ramme til vinduet bygges på utsiden av massivtreelementet. Prinsipp for vindusinnsetting vises i pkt. 5.4. Påfôrt bindingsverk gir fleksible løsninger for valg av fasade.

3.2.3 Kontinuerlig isolasjon
Det fins systemer hvor trykkfaste isolasjonsplater monteres til massivtreelementet med lekter som bæres av skruer og friksjon. Isolasjonsprodusentene tilbyr ulike systemer. Systemene gjør at man får kontinuerlig isolasjon på ytterveggen og i stor grad unngår kuldebroer, både i dekkeforkanter og gjennom stendere i isolasjonssjiktet. Isolasjonssjiktet er derfor ofte tynnere enn ved påfôrt bindingsverk. Ved å benytte et slikt system må en undersøke med leverandøren om det er behov og mulighet for å ha vindsperre på utsiden av varmeisolasjonen. Systemene leverer også egen ramme til vindu, som monteres til massivtreelementene. Det må undersøkes hvilke fasader som er forenlig med et slikt system. Ved isolering av store flater, viser erfaringer at kontinuerlige isolasjonssystemer gir raskere montering enn påfôrt bindingsverk.

4 Tak

4.1 Fuktsikkerhet

Takkonstruksjoner med massivtreelementer anbefales utført med dampsperre. Skjøter mellom elementer bør teipes også i takkonstruksjoner. Det er gunstig om takelementene etter oppføring blir skjermet mot fukt under byggeprosessen. Byggetidstekning bør brukes for å hindre at det står vann på elementene, og kan også fungere som permanent dampsperre. For å unngå fuktskader bør tekning av taket skje så fort og raskt som mulig. Ved skrå massivtretak, plasseres taknedløp på utsiden av fasaden. Ved flate kompakte tak benyttes innvendig taknedløp.

4.2 Konstruksjonsprinsipp

For tak benyttes også prinsippet om innvendig massivtreelement med utvendig varmeisolasjon. Mest gunstige takoppbygging og materialvalg avhenger av type bygning, bruk og brannkrav. Flate tak bygges som kompakttak. Dampsperre legges da mellom massivtreelementet og varmeisolasjonen. Parapet vil ofte være hensiktsmessig å oppføre som en forlengelse av påfôrt bindingsverk, som vist i figur 5.5. Skrå luftede tretak bygges opp med samme prinsipper som for yttervegg og er vist i figur 5.6. Høy grad av prefabrikasjon av takelementer er et gunstig tiltak for å oppnå fuktsikker montasje.

5 Detaljer

5.1 Generelt

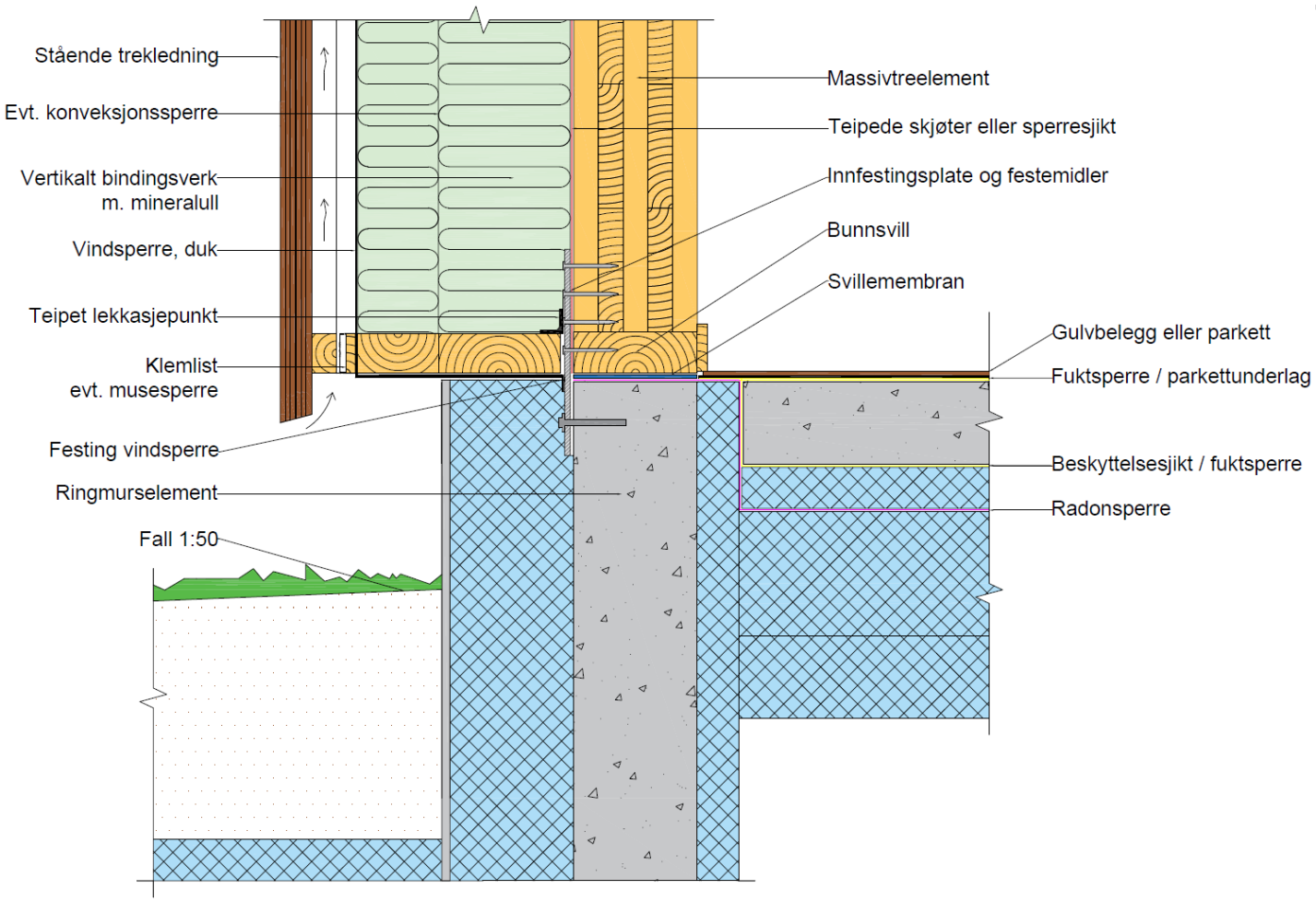
I punktet vises prinsipielle anbefalinger og forslag til utførelse. Detaljene har fokus på å oppnå synlig massivtreoverflate innvendig. Det vises følgende snitt av vertikale detaljer for enebolig: overgang ringmur og yttervegg, etasjeskiller, flatt kompakt tak og skrått luftet tak.

Alle detaljer er vist med stående trekledning, horisontale lekter, vertikale sløyfer, utvendig vindsperre (duk) og vertikalt bindingsverk med mineralullisolasjon. Dersom tykkelsen på varmeisolasjonssjiktet overstiger 200 mm benyttes konveksjonssperre. Detaljene angir ikke dimensjoner, men er tegnet med realistiske mål i forhold til hverandre.

Detaljene viser eksempler på hvor innfestingsdetaljer mellom massivtreelementene kan plasseres, og hvordan dette tas hensyn til. Alternative løsninger for innfesting er mulig. Vær oppmerksom på at det kan oppstå luftlekkasjepunkter i konstruksjonen i forbindelse med innfestingsmidler. For å oppnå tilstrekkelig lufttetthet, bør disse tettes med tape eller fugemasse.

5.2 Overgang ringmur og yttervegg

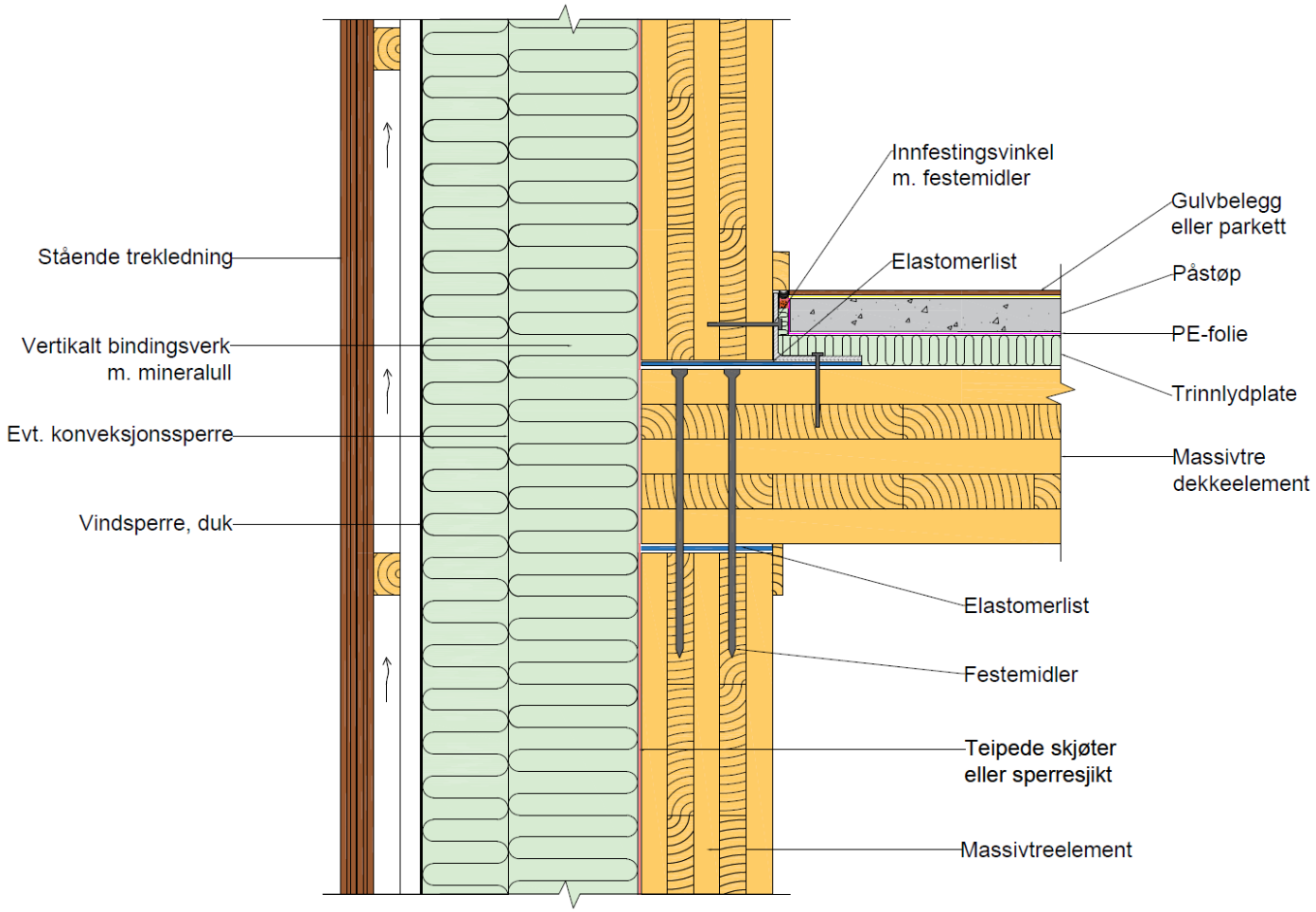
Innfesting av bærende yttervegg i massivtre til ringmur er vist i figur 5.2. Gjennomgående stendere skrus til massivtreelementet og bærer isolasjonssjiktet. Vær oppmerksom på lange skruer og perforering av eventuelle sperresjikt. Detaljen viser teiping av elementskjøter. Merk at bunnsvill brukes for enklere montering. Svillemembran benyttes for å redusere fuktopptrekk i endeved. Lekkasjepunkt som følge av innfestingsplate tettes med tape eller fugemasse. Innvendig vises armert betonggulv og overliggende gulvkonstruksjon. Her er egne tilpasninger av plassering av radonsperre og ønsket gulvkonstruksjon mulig. Alternativ oppbygging av detaljen er å ha et bredere fundament som gir bæring for det påfôrte bindingsverket. Andre innfestingsmidler må da benyttes, som for eksempel ekspansjonsbolt gjennom bunnsvillen.



Figur 5.2 – Overgang ringmur og yttervegg i massivtre.

5.3 Etasjeskiller

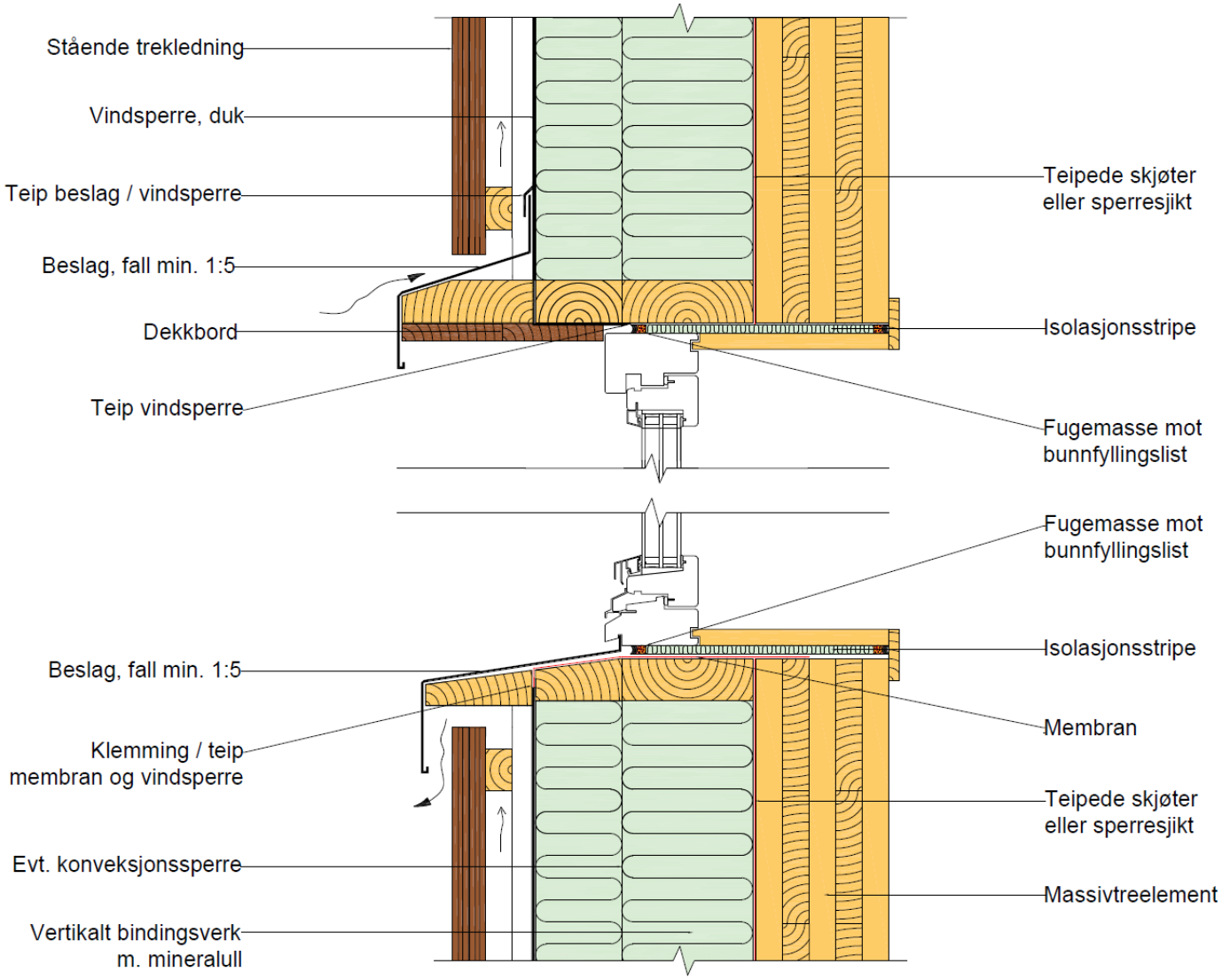
Etasjeskiller med massivtredekke montert i bærende yttervegg er fist i figur 5.3. Løsningen gjelder for enebolig eller bruksområde uten lydkrav. Detaljen viser utførelse med flytende gulv. Utførelse for påstøp vises siden det er et ofte benyttet tiltak for å oppnå bedre lydisolasjon. Tilpasning av gulvkonstruksjon avhengig av ønsket lydisolasjonsevne i enebolig, vurderes i hvert tilfelle. Alternativt kan etasjeskilleren oppnå god lydisolasjonsevne med tiltak i himling. For elementer som monteres vinkelrett på hverandre, brukes elastomerlist for å redusere flanketransmisjon. Påfôring på en av veggene vil også redusere flanketransmisjonen. Vær oppmerksom på tilpasning av gulvkonstruksjonen på grunn av innfestingsvinkel. Innfestingsvinkelen kan sløyfes ved alternativ innfesting av elementene med skruer. Alternativt prinsipp for utførelse kan være kontinuerlig veggeelement med påhengt dekkeelement.



Figur 5.3 – Etasjeskiller i massivtre

5.4 Vindusinnsetting

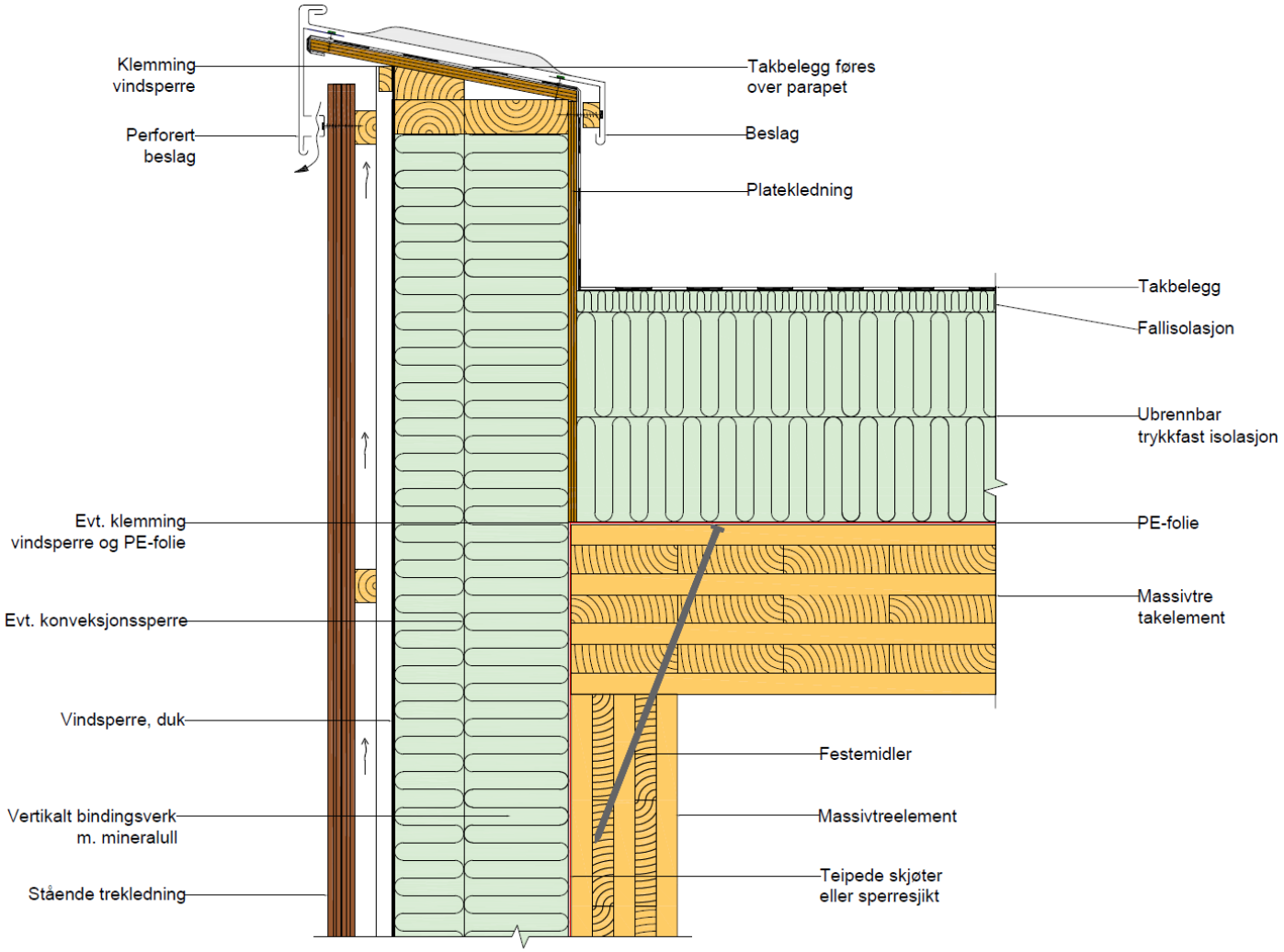
Figur 5.4 viser topp- og bunnkarm av vindu i yttervegg i massivtre. Vindusomramming er nødvendig. Ettersom vinduet er plassert ut i vegglivet, må en være oppmerksom på tilstrekkelig lastoverføring fra underliggende bindingsverk til massivtreelementet. Vær oppmerksom på skråskårede losholter for å få tilstrekkelig fall på vannbrettbeslag. I bunnkarm monteres membran, som klemmes med utvendig vindsperre. Klaringer rundt beslag utføres i henhold til Byggdetaljer 523.701.



Figur 5.4 – Vindusinsetting i massivtrevegg

5.5 Flatt kompakt tak

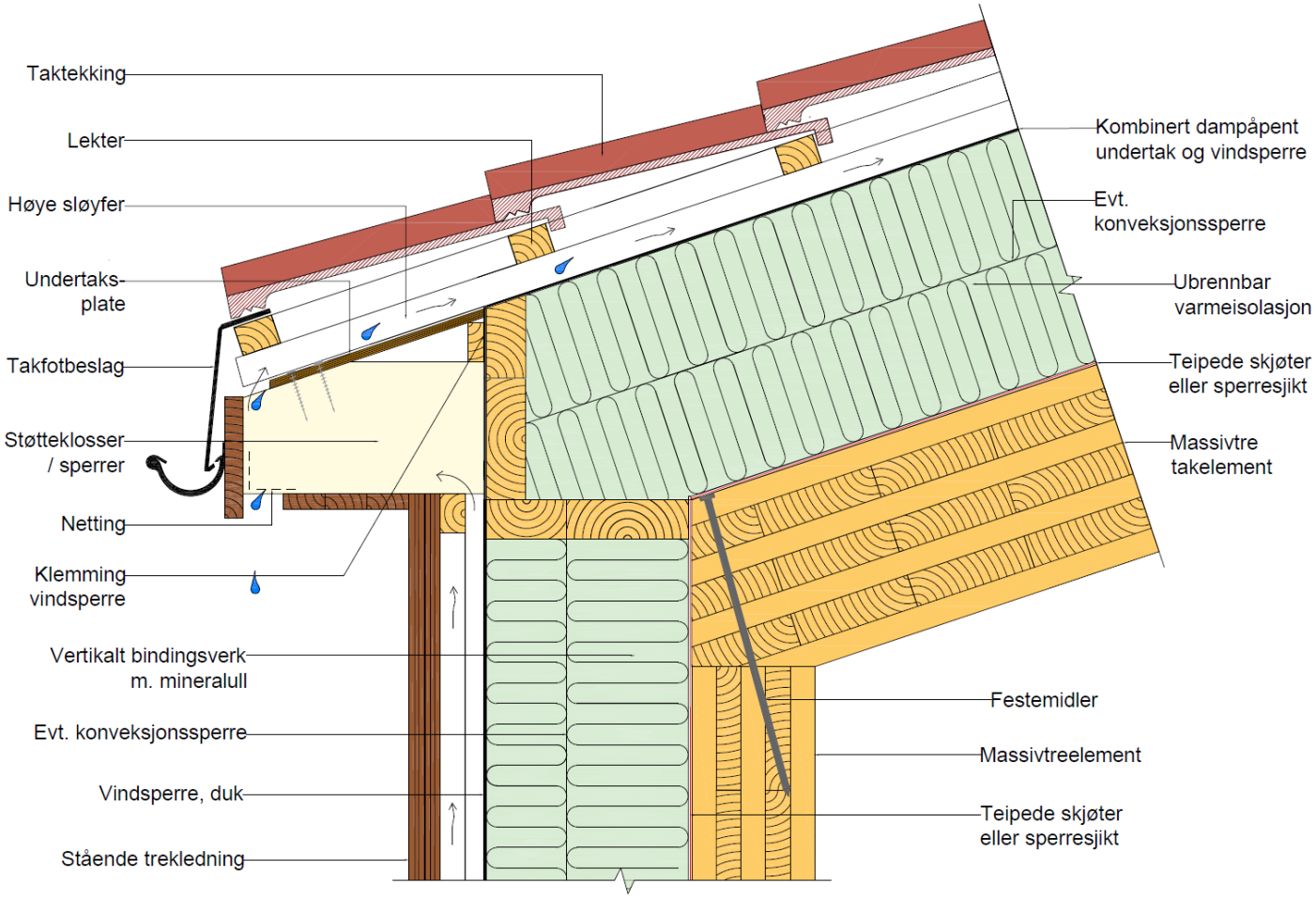
Kompakt tak i massivtre er vist i figur 5.5. Takkonstruksjonen viser oppbygging av tradisjonelt kompakt tak. Det benyttes trykkfast ubrennbar isolasjon. Vær oppmerksom på tilstrekkelig klemming mellom PE-folie i tak og eventuell vindsperre i yttervegg. Parapet føres opp i tilstrekkelig høyde. Takbelegg føres over parapet. Beslag monteres slik at luftet kledning ivaretas. Ved flate kompakte tak, føres vann ned ved innvendige nedløp.



Figur 5.5 – Flatt kompakt tak

5.6 Skrått luftet tak

Figur 5.6 viser overgang mellom yttervegg og skrått luftet tak i massivtre. Det benyttes teipede skjøter eller vindsperre også i tak. Takkonstruksjonen er vist med oppforte trebjelker for innfesting av taktekning. I tak benyttes ubrennbar isolasjon. Kombinert undertak og vindsperre fås med utvendig vindsperreduk. Høye sløyfer benyttes for å oppnå tilstrekkelig lufting i taket. Overgangen i utvendig vindsperre klemmes som vist i gesimskassen.



Figur 5.6 – Skrått luftet massivtretak

6 Referanser

6.1 Utarbeidelse

Anvisningen er utarbeidet av Simen Wahlstrøm som en del av masteroppgaven «Anvisning for massivtrebygging» våren 2019, ved Institutt for bygg- og miljøteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

6.2 Byggforskserien

Byggdetaljer:

471.421 U-verdier. Vegger over terreng – massivtre.

511.204 Enkle grunnundersøkelser for bygging av småhus

520.706 Sikring mot radon ved nybygging

521.011 Valg av fundamentering og konstruksjoner mot grunnen

522.891 Etasjeskillere i massivtre

523.701 Innsetting av vindu i vegger av bindingsverk

6.3 Lover og forskrifter

Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning

Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)

6.4 Standarder

NS 3420
Beskrivelsestekster for bygg, anlegg og installasjoner – Del 1: Fellesbestemmelser, Del Q: Tømrerarbeider

NS 3516:2017
Utførelse av lastbærende trekonstruksjoner

NS 8175:2012
Lydforhold i bygninger – Lydklasser for ulike bygningstyper

NS-EN 1990
Eurokode 1: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

NS-EN 1995
Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner

6.5 Litteratur

[651] Edvardsen K.I. og Ramstad T.Ø. *Trehus Håndbok 5*. Oslo: SINTEF akademiske forlag, 2014

[652] Norsk Treteknisk Institutt (Treteknisk). *Fokus på tre 58 – Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter*. Oslo, 1997

[653] Wahlstrøm, S. mfl. *Experiences with CLT building construction in Norway.* Del av masteroppgave *Anvisning for massivtrebygging*, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 2019

[654] Borgström, E. og Fröbel, J. *KL-trähandbok – Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner.* Stockholm: SVENSKTTRÄ, 2017

[655] Glass, S.V. mfl. *CLT handbook – Building enclosure design for cross-laminated timber construction*. Enclosure: chapter 10. FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013

[656] Skogstad, H.B., Gullbrekken, L., Uvsløkk, S. *Massivtre – Luftgjennomgang og behov for sperresjikt*. Prosjektrapport 81. Oslo: SINTEF akademisk forlag, 2011

To whom it may concern

Confirmation on paper contribution

S. Wahlstrøm[1], L. Gullbrekken[2], K. Elvebakk[2], and T. Kvande[1]

Experiences with CLT Construction in Norway

12th Nordic Symposium on Building Physics, to be submitted

[1]Department of Civil and Environmental Engineering,
Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
www.ntnu.no

[2]SINTEF Community
www.sintef.no

ABSTRACT: Buildings with cross-laminated timber (CLT) elements as a building system is a new and upcoming construction method. Due to its environmentally friendly potential, more widespread use is expected both in Norway and worldwide. CLT elements in building construction have modest experiences in the Norwegian construction industry. Lack of national guiding literature creates uncertainties on how to achieve sustainable buildings considering sustainable moisture behaviour. This paper summarizes the findings of an interview survey among CLT building construction actors in the Norwegian construction industry. The results reveal a knowledge gap and demand for more guidelines for CLT building construction. Generally, the actors do not experience more challenges with CLT construction compared to other construction systems. The major barrier for more widespread use, is to satisfy regulation requirements regarding fire safety and acoustics. Differences in focus between the industry and the Norwegian literature regarding moisture safety is clear. Guiding literature in general is missing. A closer cooperation between the industry and the research institutions is desirable to create feasible solutions.

Lars Gullbrekken and *Kristin Elvebakk* initiated the study. They have, together with *Simen Wahlstrøm* been responsible for the research design including developing of the interview guide. Simen has been the main responsible for the analysis, the development of the industrial implications of the work, and for drafting of the paper. He has done seven of the 19 interviews.

Lars Gullbrekken and *Kristin Elvebakk* carried out respectively 6 and 6 of the interviews.

Tore Kvande has served as the main supervisor. He has contributed in the research design and the analytic cohesion of the analysis. He has challenged the industrial implications of the work.

The co-authors have during the process provided critical comments on the prepared manuscript by Simen Wahlstrøm and they have all given final approval of the version to be published.

Simen Wahlstrøm

Lars Gullbrekken

Kristin Elvebakk

Tore Kvande

12th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2020, 14-17 June 2020, Tallinn, Estonia

Experiences with CLT Construction in Norway

Simen Wahlstrøm[a]*, Lars Gullbrekken[b], Kristin Elvebakk[b], Tore Kvande[a]

[a] *Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway*
[b] *SINTEF Building and Infrestructure, Trondheim, Norway*

Abstract
Buildings with Cross-laminated timber (CLT) elements as a building system is a new and upcoming construction method. Due to its environmentally friendly potential, more widespread use is expected both in Norway and worldwide. CLT elements in building construction have modest experiences in the Norwegian construction industry. Lack of national guiding literature creates uncertainties on how to achieve sustainable buildings in relation to moisture behaviour. Together, these factors create a demand for more information about sustainable CLT construction in Norway. Qualitative in-depth interviews were used to gather experience from experienced actors in the Norwegian construction industry. A comprehensive and adjustable questionnaire was created to get hands-on information and in-depth explanations about CLT construction. In total 19 interviews were conducted. The participating actors have different perspectives to a construction process (owner builder, consultant, contractor and CLT supplier). The results reveal a knowledge gap and demand for more guidelines for CLT building construction. Generally, the actors do not experience more challenges with CLT construction compared to other construction systems. The major barrier for more widespread use, is to satisfy regulation requirements regarding fire safety and acoustics. Differences in focus between the industry and the Norwegian literature regarding moisture safety is clear. Guiding literature in general is missing. A closer cooperation between the industry and the research institutions is desirable to create feasible solutions. It is important to clarify the risk for built-in moisture and the following consequences for the building. Research institutions should also focus their research on fire safety and acoustics.

Keywords: Cross-laminated timber; building physics, research needs, interviews, industry experience, Norway

1. Introduction

Among types of solid wood elements, cross-laminated timber (CLT) elements are the most common material to use for building purposes [1]. CLT elements consist of layers of wood lamellae that are laminated perpendicular to each other. A typical CLT element used in Norway consists of 3, 5, 7 or 9 layers, glued together. The element thickness ranges from 60 to 320 mm [2]. CLT elements normally have widths and lengths up to respectively 3,5 and 16 meters [3]. Element dimensions can be designed for specific purposes. CLT elements can possibly make up all types of building components such as walls (both interior and exterior), flat and sloped roofs, terraces, slabs, mezzanines and shafts [1], both as loadbearing and non-load-bearing components.

Comprehensive use of CLT elements in buildings must be considered as a construction system, which requires its own design principles and construction methods. To satisfy basic functions regarding energy efficiency and moisture safety for a building

* Corresponding author. Tel.: +0047 918 03 505
E-mail address: simenwah@stud.ntnu.no, simenwah@gmail.com

component, CLT must be used in combination with additional material layers [4]. A basic exterior CLT construction wall assembly normally consists of; CLT panel as an interior surface, thermal insulation, wind barrier, drainage gap and exterior cladding. Literature shows illustrations of typical wall assemblies [1, 5]. To achieve interior airtightness, either a vapor barrier (VB) is added between the CLT panel and the thermal insulation, or element transitions are taped. Though, airtightness and moisture safety are disputed subjects regarding CLT exterior assemblies (both walls and roofs) and is investigated in several research projects [6 - 9].

The development of solid timber elements for building construction purposes started in Central Europe in the 1990s [10]. Since the 1990s CLT as a construction system has gradually become a more widespread material for building construction. Today it is challenging traditional construction materials, such as concrete, steel and bricks [1]. The past decade saw gradual increase of interest and use of CLT for building construction also in Norway [11].

Research shows that the use of CLT in a construction process have less negative impact on environmental gas emissions compared to other construction materials, such as concrete and steel [12]. Through the photosynthesis process CO_2 is absorbed in growing trees and is temporarily stored as carbon in the material structure during its operating lifetime [13]. Timber materials are therefore often referred to as being “carbon neutral” [12]. Hence, CO_2 storage in CLT elements gives a low carbon footprint [14]. Due to timber materials environmentally friendly potential, in combination with the desire to increase local production and wood processing industry, the Norwegian government wants higher production and more widespread use of CLT in construction and production of elements [15]. In recent years, CLT construction saw some commercial interests which can be exemplified by the prestige of constructing the tallest timber building in the world [16]. It is therefore reasonable to expect widespread use of CLT in the Norwegian construction industry the next years. Until 2014 CLT made up 2 % of the total building mass in Norway, a number which is expected to reach 6 - 9 % within the next years [17]. Until now, the national production of CLT elements in Norway has been low. Just 900 m^3 of 36 000 m^3 of used CLT in Norway in 2016 was delivered from suppliers with Norwegian-made elements. The rest was imported from countries such as Austria, Germany, Sweden, Latvia and Lithuania [17].

Since the comprehensive use only existed the last decade, CLT as a construction method in Norway is relatively new. This indicates that the Norwegian construction industry generally has limited experiences with CLT construction. A study mapping research needs for CLT construction in Europe, also support these indications [18]. The result from the study Espinoza *et al.*, implies that the general knowledge level for CLT construction among engineers and research institutions are low [18]. Especially moisture behavior and structural performance is pointed out to be important areas for further research.

The indications regarding importance of mapping research needs are further strengthened when studying the existing Norwegian literature covering CLT. Firstly, preliminary works discovered few national reports covering CLT construction, and moisture behavior. Secondly, the existing literature is on average more than 10 years old and is partially expired due to the development of the CLT construction method. Additionally, the literature is inconsistent in its guidance on important topics, such as whether to use a vapor barrier in an exterior enclosure or not.

Limited experiences, low knowledge level and missing literature constitutes barriers for increased use of CLT among Norwegian actors. However, some actors within the Norwegian construction industry have extensive experience. Mapping information from the experienced actors ought to be an important source for revealing challenges and research needs related to CLT construction in Norway.

This paper summarizes the findings of an interview survey among Norwegian CLT building construction actors. The purpose of the study was to reveal challenges and mapping research needs through interviews with actors with relevant experience with CLT construction. With this background three research questions were created, making the background for the further approach of the study.

1. What written knowledge basis is missing for more uniform and widespread use of CLT elements?
2. What building physical details are seen as the most challenging in construction and design of CLT buildings?
3. Are these challenges related to lack of knowledge, and would an increase in research result in better knowledge on these challenges?

The study limits to consider building projects where CLT elements are used, no other construction work (such as bridges and timber houses). Collecting experience provides a large amount of information to be analyzed. Therefore, the approach of the study and the interview guide is limited to mainly focus on building physical and technical challenges. Challenges related to statics, fire safety, acoustics, economics, progress and environment, are covered, but not widely explained. These topics are still handled in the interview guide and are important for the authors to achieve a universal understanding. The paper is written as a part of the master thesis titled “Guidelines for CLT Construction” within the Building and Material Engineering discipline at Department of Civil and Environmental Engineering - NTNU in Trondheim the academic year 2018/2019 [5].

2. Research method

2.1. Research model

The interview process is done in cooperation with the Norwegian research institution *SINTEF Community*, which conducted a similar project parallelly. The premise for the research is to obtain hands-on experience from the industry. Through regular meetings with brainstorming and discussion of different survey methods the authors concluded that qualitative in-depth interviews as described in Yin [19], was the most favorable method. These interviews act like conversations based on a prepared interview guide. The method provides in-depth explanations, as the questions can be adjusted as the interview is taking place. A qualitative approach was chosen to get in-depth explanations, instead of mapping the frequency of different phenomena [20]. This could help reveal other aspects and challenges which is not spotted in the literature published by research institutions.

Even if the focus is building physical challenges, it was decided to create a comprehensive interview guide which would give the results a universal character. The interview guide is available in a full-size report [21]. Therefore, it would be possible to consider challenges related to moisture behavior in context with the total situation. A total situation overview is also reflected in the desire to gather experience from actors with different perspective to CLT construction. Therefore, owner builders, consultants (including architects), contractors and CLT suppliers were all asked to participate in the study (see Table 1). It was decided that the interview guide should have an adjustable format, so it could be customized depending on which category which was interviewed. An adjustable interview guide was possible, due to the chosen interview method.

Actors were chosen through a brainstorming process and was based on the researcher's preliminary work and knowledge of the construction industry. Additionally, some actors were recommended through initial communication with already selected actors. The main focus was to interview people who had experience using CLT construction on at least one project. Therefore, the actors were asked to send people who had hands-on experience. Even if the selection of actors is based on a qualitative review of the industry, many participants are industry leading actors in Norwegian CLT construction, resulting in higher credibility of the results.

2.2. Accomplishment

The interviews were done between September and November 2018 and should therefore reflect the CLT construction situation in Norway today. Eventually 19 of 21 contacted actors had been interviewed. This was set to be a manageable number of actors considering amount of time available and working capacity in the research group. Still, conducting the interviews gave some challenges. Firstly, the interviews were conducted in a short range of time, due to the research determined project period and deadlines. Secondly, the authors intended to do the interviews face-to-face. However, geographical spread and busy people made this difficult, considering travel logistics and amount of time available. The authors are located in Trondheim in Norway, but many actors are located near the Oslo region. Difficulty of doing the interviews face-to-face led to that most of the interviews were done by telephone. The first author did 6/7 interviews face-to-face. The rest of the interviews were done by telephone. The interviews done face-to-face had an average duration of 1 hour. In comparison, the telephone interview duration varied between 15-45 minutes, partially depending on the interview subject's knowledge of the subject. From each interview, a report was written (no direct transcriptions). The face-to-face interviews were recorded to ease the report process, and for ensuring the quality of the reports. Afterwards the reports were sent out to the interview subject and approved. The researchers shared the reports in a common database. These reports are the main information source on which the results in this paper are built. Reports from 19 interviews gave a large database of information to process. Sorting the most relevant information in relation to the research questions was challenging.

Table 1. Overview interviewed actors

Category	Number of interviews
Owner builder	3
Consultant / architect	7
Contractor	6
Supplier	3

2.3. Triangulation through literature research

A qualitative study should seek at least two sources of evidence, an important principle in research works called triangulation. This means, that researchers should use the combination of different data sources and methods in the study of the same phenomenon [22]. Triangulation of observations can be used to consider the credibility of the collected information. This depends on which grade the phenomena observed in the different sources converges or diverges. Therefore, in addition to the interviews, a structured literature survey was conducted early in the study process, to work as a supplementary source of information. A literature survey would also help understand contradictions in challenges between the literature from the research institutions and the industry. In

this way it would strengthen the authors universal view and bias of the state of the art CLT research. Triangulation is important for the credibility of the findings when having the research questions in mind, since they are focused on mapping a gap in the knowledge in the literature, and challenges in the industry.

The literature survey's objective was to get an overview of the existing literature covering CLT. Especially the Norwegian literature covering building physical topics was sought after, according to the study approach. Methods used were doing searches in academic search engines, *snowballing* in investigated literature, and inspecting already known reports and books. A qualitative and bibliometric selection of the most relevant literature was done, and it was inspected having its credibility, objectivity, accuracy and suitability in mind. The literature inspected was mainly in Norwegian or English. Also, literature on methodical work and similar studies covering experience gathering in the Norwegian construction industry was inspected for inspiration, such as Hauge *et al.* [20].

3. Results

This chapter presents the results from the interviews divided into different subjects. Due to the chosen qualitative method, the results must reflect the main opinion from the majority of the actors. This is expressed in the results as the opinion of the "industry" or the "actors". Some deviation within different subjects therefore might exist. Generally, the results are surprising, and within some topics they are quite different from expected. The authors thought challenges related to moisture behaviour and whether to use a moisture barrier or not would be the most disputed topic. This issue seems to be given less attention in the industry compared with the literature and research institutions. Due to missing literature, the authors thought that it would be many technical challenges related to CLT building construction. On the contrary, the industry does not experience increased numbers of building technical challenges with CLT construction compared to other materials. Though, some new challenges occur, partially due to the material characteristics of CLT.

3.1. Motivation for applying CLT

The motivation for applying CLT in projects must be stated, since it affects many of the ideas and circumstances of why and in which way CLT is used. The most expressed motivation for choosing CLT was due to less negative impact on the environment. The actors experience that it is mostly in public building project where CLT is used. Considering productivity and costs, the actors experience that success in cost and productivity is depending of the type of building constructed. The use of CLT is advantageous in cell-based structured buildings with relatively short spans, such as student residences and health institutions. Most of the actors express that it is a time-rational construction system, having the same speed or higher erecting CLT elements, compared with other prefabricated materials. In CLT construction in Norway, there is a vision that the CLT must be the visible surface inside. This is a principle insisted in the industry, and architects happily use CLT due to its esthetical properties. Visible CLT in Norway is different from international literature, where CLT is used because it is an environmentally friendly material which gives a rational construction process.

3.2. Existing literature and knowledge basis

The literature survey shows that only a few Norwegian reports exist covering CLT construction considering building physics and moisture behaviour. All the technical reports covering CLT is published by the research institution *SINTEF Community*, a leading and credible research institution in Norway and Europe. The two reports covering moisture behaviour is dated to respectively 2008 and 2011 [8, 9]. These two reports are inconsistent in its guidance whether to use a vapour barrier (VB) or not. In Time *et al.* [8] the conclusion is that CLT used in roof assemblies, do not need a VB to achieve adequate moisture safety, but that it can be used. In Skogstad *et al.* [9] after studying air-leaks through dried CLT elements, the conclusion recommends a VB in CLT wall design. It also exists limited guiding literature such as handbooks and construction guides. The only existing handbook dates to 2006 [2]. Hence, some of the contents in the existing literature are likely to be partially expired due to the development of the construction method. This is reflected in [8] when studying the thermal insulation systems and measures to achieve local airtightness. Regarding other building physical subjects, a report covering CLT and acoustics was published in 2014 [23].

The indication that limited Norwegian literature exists is clearly confirmed through the interviews. The industry express that there is little available national guiding literature which is helpful for everyday use. Guiding literature showing principles and standard solutions, for instance to satisfy regulations according fire safety and acoustics is highly missed. The lack of guiding literature forces the industry to apply other sources of information for designing CLT buildings. Most commonly, experiences from previous projects with CLT are used as a reference for designing new solutions. Also, the CLT suppliers' guidance and their product specifications (technical brochures) are also frequently used. This is mainly imported design from Central European suppliers (German or Austrian). The adaption process to Norwegian climate and building traditions is uncertain and not standardized. Generally, lack of competence is challenging and leads to a more complex design process. Especially consultants with universal responsibility are missed. High competence and experience are a key to a successful design process.

3.3. Fire safety and acoustics

The major findings in this study, is the revealing's of challenges related to fire safety and acoustics. These subjects have many similar findings, so they can be featured together. According to the interviews the major challenge with CLT building construction is to satisfy regulations in regard to fire safety and acoustics. This due to non-existing predesigned standard solutions which satisfy regulations. This is mainly a problem in high story buildings (more than 4 stories). According to some actors, some regulations are old and conservative, and non-favourable to CLT as material. Satisfying regulations are pointed out to be the major barrier for more widespread use of CLT in Norway. It is also a challenge that different fire safety consultants prefer and approves different design solutions which satisfy regulations. The industry indicates that regulations must undergo reformations and adjustments having CLT as a material in mind. Adjustments of regulations are the key to more widespread and uniform use of CLT. To satisfy regulations, especially the regulation regarding non-burning surfaces, more material layers must be added. This reduces the positive esthetic and environmental effects. It is also costly and reduces productivity in the project.

3.4. Moisture behavior and airtightness

Issues regarding moisture behavior issues is given less attention in the industry, compared with literature from research institutions (both Norwegian and international). A highly focused subject in literature is whether to use a vapor barrier (VB) in an exterior assembly or not, to achieve a moisture safe enclosure. The industry seems to be more comfortable to this subject. Often the actors are following the CLT suppliers' instructions and recommendations. Though, also in the industry there are variations in the design and solutions for exterior assemblies regarding using a VB or not. The most common construction principle used for exterior wall components, is when CLT element is used as an interior surface element with exterior thermal insulation and cladding. The most important measure used to achieve a moisture safe building in the industry, is to have an airtight building to avoid air leaks. To achieve good and adequate airtightness, the most common measure is to use tape on the element transitions, combined with an exterior wind barrier outside the thermal insulation layer. Some actors also use a water permeable wind barrier (WB) between the CLT element and the thermal insulation, in combination with a wind barrier outside the thermal insulation. If a continuous rigid thermal insulation system is used, the wind barrier frequently is omitted on both the interior and exterior side. On larger projects continuous rigid thermal insulation systems are often preferred instead of normal framework insulation, due to faster mounting. Shorter mounting period can also reduce the amount of time which the elements are exposed for rain and snow. Some actors also normally use a VB in the wall assembly. Whether to use a VB is also depending on amount of building site moisture. Hence, the moisture content of CLT elements depending on weather exposure in the construction process.

Though, the enclosure design depends on type of construction and component. In CLT roof assemblies, almost every actor is using a VB. The idea that airtightness is the most important measure to achieve moisture safety correlates with the focus in international literature but is hardly ever mentioned in Norwegian literature. According to the industry, it is easier to achieve airtight buildings using CLT than with the same effort with other materials. Though it is uncertain if the airtightness is durable, also after the CLT elements is finished shrinking. Especially the consultants ask questions about this. Cracks and air leaks due to drying of CLT elements and following shrinkage, is discussed in the report [9].

Despite the variations in design, in general, the actors do not experience increased number of moisture-related damages and repair cases compared with other projects. If it occurs, it is often due to ordinary leakage issues from exterior side, not related to diffusion or convection.

3.5. Building site moisture and weather protection

Literature frequently mentions weather protection systems (WPS) of the building site, as an important measure to avoid wetting of CLT elements through direct contact with fluid water. Generally, the industry finds WPS to costly and impracticable to use due to the logistics with crane lifting the CLT elements. The industry finds other various measures to retain a moisture safe building process. However, the routines and methods vary from actor to actor depending project, previous experience, space available, and degree of prefabrication of CLT elements. Routines and measures also depend on season of year and weather. The most important measure is the delivery logistics of CLT elements to the building site. If the transport and delivery is planned well with respect to the progress, the elements get reduced storage time, and the CLT can go straight from delivery to erection. This reduces the period the CLT possibly is exposed to damaging weather conditions, such as rain and snow. When CLT elements are stored after arrival on the building site actors strive for storing the elements dry, either with water-resistant covering or under roof protection. Ideally roof protection should be facilitated by the builder. After erecting the elements, the routines vary from actor to actor, and the CLT suppliers' advice is followed. Ideally the roofing should happen as fast as possible. If not, some insists on using some sort of weather protection. Often this is a cover with water-resistant plastic or a temporary weather protection layer which is a part of the delivery. Other actors are more comfortable, and do not cover the CLT, resulting in potential exposure to rain and snow. The argument used, is that the hygroscopic characteristics of the CLT gives sufficient drying.

The contractors express that they do not have many claims related to moisture damages in buildings with CLT. With ordinary quality securing systems, they experience that moisture usually is absorbed in the outermost layer of the element, and that in most cases the moisture content gets back to satisfactory values for closing. If not, measures are implemented to dry out the moisture,

and extended quality assurance is performed. Some actor experiences discolor on CLT elements which has been exposed to water over a longer period. Guiding literature covering principles for building site moisture control in CLT projects is missed, especially by the advisors. Some consultants also express a desire of more focus on building moisture control in an early phase of the project.

3.6. Health, Safety and Environment

A major opinion in the industry and especially from the contractors is that use of CLT clearly has positive effects on the health, safety and environment (HSE) on a building site. The use of prefabricated wooden elements saves the building site from dust, pollution and noise due to less concrete sawing. Though it should be mentioned that many and long fasteners to connect the elements, can give some wear on workers. These findings also correlated with findings in a Norwegian case-study comparing CLT and concrete as construction system [24].

4. Discussion

In this paper we set out to address the research questions mentioned in section 1. The first question implies that the Norwegian literature covering CLT is limited. These indications are confirmed in both the literature survey and the interviews, which both reveal weaknesses in the limited Norwegian literature. It exists few reports covering CLT related to the building physical challenges expressed by the industry. Only two reports covering CLT moisture behavior, and they are on average 10 years old. One report covers CLT and acoustics, but so far, no reports covers CLT and fire safety have been published. The indication on lack of guiding literature and handbooks is further confirmed in the interviews, where it is expressed that guiding literature which is useful for everyday purposes in general are missing. Various design and principles in CLT assemblies also supports the implication of missing guidelines. Investigating common construction principles used in the industry, strengthen the indications that the existing reports and literature are presenting expired methods and solutions.

The consequence of missing literature is that previous CLT projects are used as a reference for design and construction. The consequence is that different actors do internal research on CLT within their own organization instead of sharing experiences. Further, this give experienced actors even clearer advantages for winning new tendered CLT projects. Experienced and competent people are important for the degree of success in the project, especially in the design process. Sharing experience could be an important source of information for research institutions for developing guiding literature. Increasing the general knowledge level about CLT will illuminate insecurities related to CLT construction, which can lead to more widespread and uniform use. Therefore, creating new literature with clearer guidelines, such as handbooks and construction details could be an important measure for success in a design process, which today is experienced as complex. Generally, a potential for knowledge level improvement correlates with results in [18], and the indications regarding modest experiences as described in section 1.

The second question had the objective to map building physical challenges in relation to CLT construction. The question was made due to insecurities related to CLT moisture behavior, and whether to use a VB in CLT assemblies or not. Since the actors do not experience more challenges with CLT construction compared to other, more used materials, there must be said to be a non-discovery. Though, since it is a new construction system, new challenges arise. The most challenging issue with CLT construction according to the industry, is to satisfy regulations regarding fire safety and acoustics. This is presented as a challenge, mainly due to regulations, not a building physical challenge due the material characteristics. Since CLT is a relatively new material and construction method in Norway, there is a possibility that some of the principles in fire safety and acoustic regulations was compiled before CLT was a common construction material. The material properties also vary between the different suppliers, having consequences for the predictability in fire safety performance. Therefore, the industry has a credible argument, when indicating that adjustments and customization of regulations which can adapt CLT as a new material, can lead to more widespread use of CLT. Assuming the adjustments not affects basic principles for health and safety in buildings. Adjustments and revisions of standards and regulations due occur, but not spontaneously. Some delay before revision is therefore reasonable and expected, giving time to understand the characteristics of CLT. Adjustments can ease the design process in CLT projects and provide less use of materials. Documented and standard solutions are the missing link for satisfaction of regulations. Further research on developing solutions for this is important. Reducing the focus of having visible CLT surfaces can also make it easier to satisfy the regulations, since additional material layers easier can be added. Though, this will reduce the positive effect of using less material. Other reasons and incentives for using CLT must therefore be found.

According to the results, the moisture behavior subject is still open for discussion. Disputation in literature and various principles in the industry supports this. It can also indicate that there is no clear answer to the question, and that it depends on type of project, experience and moisture content in the CLT. Variations in routines and methods in both construction principles (i.e. using VP or not) and building site moisture control indicates missing guidelines within this subject. Even if the industry seems to be comfortable to CLT and moisture behavior this is a subject for further research. There also exist some uncertainty related to sustainability regarding moisture safety and air tightness, due to shrinking in elements. This is highlighted by consultants as an insecurity which can affect the moisture safety in CLT buildings. The topic is also disputed in the literature. To innovate, the industry must satisfy the research institutions suspiciousness, and show that the air tightness in CLT buildings are sustainable, also after drying and shrinkage of elements. After getting more empirical experience, the research institutions can develop more guiding literature on this subject. A closer collaboration between the research institutions and the industry can be

an important measure. Due to variations in dealing with building site moisture, clearer guidelines should be developed. Uncertainty regarding moisture behavior is an important area for research [18]. Though, future research should do measurements on real size buildings, not only small laboratory elements. This has not been done in none of the investigated national or international literature. This is suggested due to the opposites between literature and industry.

This leads us to answer the last question. Some of the challenges featured above, can probably improve through focused research. The moisture behavior issues need further empirical evidence, so that the industry and the research institutions can feed each other's information needs. The industry must verify that CLT is a rational and sustainable construction material, and the research institutions must develop guiding literature which is useful for purposes in the industry. Closer collaboration will reduce insecurities related to CLT design and construction. Though, closer collaboration raises the question about funding. Investigative studies on possible adjustments in the fire regulations will provide more uniform and widespread use of CLT. On the other hand, solutions with CLT which easier satisfy requirements, should be investigated. Changing the idea that CLT must be visible, would also partly solve this challenge. Since the environmentally friendly effects possibly will be reduced, there must be other advantages and incentives for use of CLT, for instance improved HSE factors. Internationally, CLT is widespread even if it is not visible, as reflected in construction details in [1, 13]. Adaption of solutions in international literature can therefore be an important source of information. Adequate considerations and adjustments to Norwegian climate and building traditions must be done.

5. Conclusion

In this study we set out to map knowledge gap, research needs and building physical challenges related to CLT building construction in the Norwegian construction industry. The study has revealed that in-depth interviews with experienced actors in the Norwegian construction industry was an advantageous method for gathering large amount of information. The interviews were useful for both mapping research needs, and to get an overview of common CLT construction principles. Interviewing actors with different approaches to CLT projects was an important measure to spot challenges from different points of view. Triangulation through the literature survey, was an important measure to give a universal view on the CLT situation. Through the study, both initial impressions and assumptions have been both confirmed and rejected. Also new challenges about CLT construction have been discovered.

The results reveal that there is a gap in knowledge regarding CLT building construction, both within research institutions and within the industry. These findings correlate with other studies which implies that the general knowledge level about CLT is low. The existing Norwegian literature is limited, and nearly expired. The industry expresses a clear need for more guiding literature, such as handbooks and construction guides covering CLT construction. Guiding literature covering moisture behavior, and rational principles for fire safety and acoustics is contentious and important subjects. The need for guidelines is also reflected in various principles to achieve moisture safe assemblies, and various routines for dealing with building site moisture. More guiding literature could also be helpful creating a more straightforward design process. The lack of literature leads to internal research within the organizations, instead of national innovation.

In general, the industry does not experience more challenges with CLT construction, than with other materials. Though, the challenges are often due to using a new construction method with little practical and empirical experience. The largest barrier for more widespread use of CLT in Norway, is to satisfy regulations to fire safety and acoustics. Therefore, the industry request adjustments in the regulations. Documented solutions which satisfy the existing regulations, are also needed. CLT and moisture behavior is also an important subject which gives contradictions between the industry and literature, but also between the different actors. Various design principles are used for achieving a moisture safe assembly. Various routines and measures for handling building site moisture is also observed. Durable air tightness after drying and shrinking of CLT elements is also an insecure subject, which also affects the decision on whether to use a vapor barrier in a CLT wall assembly or not. More empirical data investigating air leaks due to dimensional changes is needed. A project covering this subject, has already been started by SINTEF Community during the spring 2019. All these challenges indicate that CLT and moisture behavior is an important area for further research.

The industry and the research institutions should increase their collaboration in further research. Today they appear as to opposites with no common trace for innovation. Closer collaboration can lead to further credibility to each other and can help increase the general knowledge level. The research institutions should focus their research on topics which can be useful for everyday purposes in the industry. This can be done by developing guiding literature such as construction guides and handbooks. More guiding literature will increase the general knowledge level in the industry and illuminate insecurities, which will lead to more widespread and uniform use of CLT. Though, the industry must verify that CLT used in exterior assemblies are sustainable regarding moisture safety and air tightness. More empirical experience from full-size buildings will help the research institutions collecting information. Though, this requires closer collaboration between industry and research institutions. New economic and financial models must be developed, since closer cooperation raises the question of funding and payment for the projects.

International literature can be an important source of information to develop more guiding literature, if the necessary adjustments to Norwegian climate and building traditions is done.

Acknowledgements

This paper has been written within the Klima 2050 Centre for Research-based Innovation. The authors gratefully acknowledge all our partners and the Research Council of Norway. A special thanks to all the interviewees who kindly spent their valuable time answering our questions.

References

[1] Borgström E, Fröbel J. **KL-trähandbok** [CLT Handbook] Stockholm: Svenskträ; 2017.
[2] Aasheim E. **Håndbok – bygge med Massivtreelementer**. [Handbook – CLT Construction] Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006
[3] Stora Enso. **Stora Enso CLT Teknisk Brosjyre**. Stora Enso Wood Products GmbH; 2017, http://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/09/Technical-brochure-CLT-NO.pdf
[4] Gullbrekken L, Elvebakk K. **Kartlegging av kritiske områder ved prosjektering og utførelse av bygg med KLT-elementer.** [Mapping Critical Areas for Design and Construction with CLT] Report 2018:01400. Trondheim: SINTEF Community; 2018
[5] Wahlstrøm S. **Guidelines for CLT Construction**. Master thesis. Norwegian University of Science and Technology; 2019
[6] McClung R, Ge H, Straube J, Wang J. **Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: field measurements and simulations**. Building and Environment 2014; 71; p. 95-110.
[7] Glass SV, Wang J, Easley S, Finch G. **Building enclosure design for cross-laminated timber construction.** Enclosure Chapter 10. U.S. ed. Canada: FP Innovations and Binational Timber Council; 2013
[8] Time B, Geving S, Friquin KL, Grynning S, Noreng K, Sandland KM. **Tak basert på massivtreelementer**. [CLT Based Roof Assemblies]. Project report 30. Trondheim: SINTEF Community; 2008
[9] Skogstad HB, Gullbrekken L, Uvsløkk S. **Massivtre – Luftgjennomgang og behov for sperresjikt**. [CLT – Air Leaks and Barrier Layer Needs]. Project report 81. Trondheim: SINTEF Community; 2011
[10] Mallo MFL, Espinoza O. **Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States.** Bioresources.com 9(4) 2014;7427-7443.
[11] Asplan Viak (2016) ***Bruk av massivtre i offentlige bygg***. [CLT use in Public Buildings]. Commercial Report. Byggmedtre; 2016. https://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1481729588/bruk-av-tre-i-offentlige-bygg.pdf
[12] Skullestad JL, Bohne RA, Lohne J. **High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Altarnatives.** Energy Procedia 96 (2016) p. 112–123.
[13] Teibinger M, Matzinger I. **Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings**. Wien: Holzforschung Austria; 2013
[14] Tellnes LGF. **Fokus på tre nr. 58. Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter**. [Focus on Wood 58 - Environmental Declarations for Wood-Based Products]. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2016
[15] Regjeringen [Norwegian Government]. **Markedet for massivtre er i sterk vekst**. [CLT Market is Growing]. 2017, https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/markedet-for-massivtre-er-i-sterk-vekst/id2578870/
[16] Teknisk ukeblad [Technical Weekly Magazine] **Behovet for massivtre i været.** [Increased CLT Need]. 10.08.2017, https://www.tu.no/artikler/behovet-for-massivtre-i-vaeret-bygger-ny-fabrikk-for-a-mote-ettersporselen/398843
[17] Trebruk. **Markedsanalyse massivtremarkedet i Norge 2017 – 2024**. [CLT Market Analysis in Norway 2017 – 2024]. Vestby: Trebruk AS; 2017, http://arenaskog.no/wp-content/uploads/2017/06/markedsanalyse-massivtre-280217.pdf
[18] Espinoza O, Trujillo VR, Mallo MFL, Buehlmann U. **Cross-Laminated Timber: Status and Research Needs in Europe**. Bioresources.com 11(1) 2016; 281-295.
[19] Yin, RK. **Case Study Research**. 5th ed. United States of America: Sage Publications; 2009. p. 98-125.
[20] Hauge ÅL, Flyen C, Almås AJ, Ebeltoft M. **Klimatilpasning av bygninger og infrastruktur**. [Climate Adaptions in Buildings and Infrastructure]. Klima 2050 report 04. Trondheim: SINTEF Community; 2017.
[21] Wahlstrøm S. **Erfaringer med bygging i massivtre**. [Experiences with CLT Construction]. Student project. Norwegian University of Science and Technology; 2018
[22] Bowen G. **Document analysis as a qualitative research method**. Qualitative research journal 2009; 9(2). p. 27-40
[23] Homb A, Hveem S. **Lydoverføring I byggesystemer med massivtreelementer.** [Sound Transmission in CLT construction systems] Project report 80. Trondheim: SINTEF Community; 2011
[24] Østnor T. **Massivtre og Plasstøpt betong: en casestudie**. [CLT and Site-poured Concrete: a case study]. Master Thesis. Norwegian University of Science and Technology; 2018

12th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2020, 14-17 June 2020, Tallinn, Estonia

Methods for Creating CLT Construction Guidelines

Simen Wahlstrøm[a]*

[a]*Department of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway*

Abstract

In the past decade, Cross-Laminated Timber (CLT) elements as a building construction system have become gradually more popular and widespread used in the Norwegian construction industry. A study mapping experiences with CLT among actors in the Norwegian construction industry, reveals that the existing Norwegian literature covering CLT building construction is expired and no longer relevant for everyday use. This paper describes the methods used for developing CLT construction guidelines, with the purpose to fill a knowledge gap. Information from experienced actors in the Norwegian construction industry through interviews, document studies and quality assurance creates the knowledge basis for this study. Together, 19 qualitative in-depth interviews where held and more than 400 documents where received from 11 actors representing 12 projects with comprehensive use of CLT. Close guidance on approach, format and layout was given by the research institution SINTEF Community. A 16 pages CLT construction guide with focus on moisture safety design and rational production progress was developed. 16 people with CLT competence from the industry and research community participated in a quality assurance process. Critical feedback affected the guide content and design recommendations. The study shows that communication with the construction industry and research institutions can be an important measure to develop relevant literature. The engagement from the industry accentuate the importance of creating CLT construction guidelines. Hopefully the guide will inspire research institutions to create and publish updated CLT guidelines.

Keywords: Cross-laminated timber, building physics, construction guidelines, research needs, document study

1. Introduction

Over the last two decades the development and use of cross-laminated timber elements (CLT) as a construction method have become gradually more widespread [1]. Especially during the last decade CLT elements as a building construction system has been more comprehensively used notably in the Norwegian construction industry. The

* Corresponding author. Tel.: +0047 918 03 505
E-mail address: simenwah@stud.ntnu.no, simenwah@gmail.com

Norwegian government stated that increased national production and use of CLT is desirable [2]. In combination with the intention to increase the national wood processing industry, the desire of more comprehensive use of CLT is due to its environmentally friendly potential. Through the photosynthesis process CO_2 is absorbed in growing trees and is temporarily stored as carbon in the material structure during its operating lifetime [3]. Hence, studies and literature show that use of CLT gives a lower carbon footprint [3-5].

A study mapping building physical challenges related to CLT in the construction industry, reveals a gap in the knowledge and literature covering CLT in Norway [6]. In the study, 19 experienced actors in the Norwegian industry participated through in-depth interviews and shared experiences and challenges related to CLT building construction [6]. The results show that updated guidelines covering CLT is needed. Especially CLT in relation to fire safety, acoustics and moisture behavior are highlighted as critical subjects. Due to expected increase use in the future, creating new guiding literature which provides uniform and sustainable CLT construction is important [6].

Existing Norwegian guiding literature covering CLT construction [7-9] is expired due to the development in construction methods and is therefore irrelevant for practical everyday use in the industry [6]. Two Norwegian research institutions are responsible for publishing updated CLT guiding literature; *SINTEF Community* and *Norsk Treteknisk Insitutt* (Norwegian Institute of Wood Technology). Through publishing *Building Research Design Guides* (construction guides) *SINTEF Community* is the main source of research information and guiding literature in the Norwegian construction industry [10]. Their construction guides have high credibility within the industry and provides design and solutions which satisfy regulations on technical requirements for construction works. *Norwegian Institute of Wood Technology* publishes general literature concerning the wood processing industry and use of wooden materials (i.e for constructional purposes) [11]. So far both research institutions have published few reports and guides covering CLT construction principles related to building physics. Therefore, it is desirable to create guidelines in the same format as other existing Norwegian guides. This approach has consequences for the methodical works in this study. Construction guides requires to undergo a comprehensive quality assurance process. The chosen format also gives consequences for layout, wording and drawing technique. In addition to written practical instructions, a typical construction guide includes illustrations and drawings showing construction details for recommended design. Illustrations is presented through drawings created with CAD-software.

The main goal of this study is to demonstrate how to create high quality guidelines for using CLT in construction. Due to lack of long-term industry experiences, crucial information is obtained from actors in the industry, supplied by review of literature and quality assurance from the Norwegian research community. The study is carried out as a following-up of Wahlstrøm et al. [6], with the objective to fill the identified knowledge gap regarding CLT construction. The guiding literature aims to follow the *SINTEF Community* guidelines and intend to form a legal basis for the contractor in fulfillment of governmental regulatory measures of building projects. This paper focuses on describing the methodical work applied to create the guide and is partly interrelated with the method described in Wahlstrøm et al. [6]. Additionally, in this study a comprehensive document study and quality assurance process is done.

The study limits to describe CLT elements in buildings, with focus on building physical elements. Other construction work such as bridges and timber houses are not covered. The construction guide is based on a detached residential building with a maximum of 3 stories. Though, the principles and guidelines can also be used in larger CLT building projects. The developed guidelines serve to provide moisture safety design and rational production progress. Subjects as economics, statics, fire safety and acoustics are not widely explained, but described in general terms to maintain a universal overview of the CLT knowledge situation. The paper is written as a part of the master thesis titled “Guidelines for CLT Construction” at Department of Civil and Environmental Engineering – Norwegian University of Science and Technology (NTNU) in Trondheim the academic year 2018-2019 [12].

2. Method

This chapter describes the methodical work and approaches used to develop CLT construction guidelines. The method is interrelated with the method described in Wahlstrøm et al. [6], which is summarized in chapter 2.1 below.

The study combines different methods such as a literature review, interviews, document study and quality assurance. A general approach of the study is to use the actors in the industry as an important source of information.

In all stages, correspondence and input from the industry has been important. The figure below illustrates development of knowledge in each methodical stage.

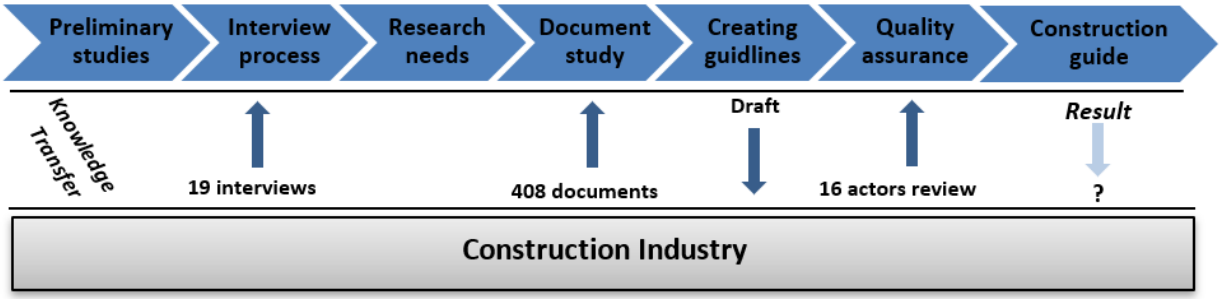


Fig. 1. Knowledge transfer in different methodical stages

2.1. Interviews in previous studies

Wahlstrøm et al. [6] describes the interview process done in cooperation between the author and *SINTEF Community*. The interviews were qualitative in-depth interviews as described in Yin [13]. Doing qualitative interviews was the preferred method for collecting hands-on explanations, instead of a quantitative survey mapping the frequency of incidents [14]. Actors with different perspectives of CLT construction projects was interviewed. This was a useful measure to maintain a universal view when mapping challenges and research needs. Therefore, project stakeholders, consultants (including architects), contractors and CLT-suppliers all participated the study. A comprehensive interview guide was created, which could be adjusted depending on type of actor. The study focuses mainly on building physical subjects (especially moisture behavior), but questions regarding economics, statics, and environmental issues are included in the interview guide.

Additionally, a structured literature review was done to map existing literature covering CLT construction.

In total, 19 interviews with actors in the Norwegian construction industry was conducted. The interviews were conducted either face-to-face or by telephone. From each interview a report was written (no direct transcriptions). The reports were approved by the interview subject and shared between the authors as a common database of information.

The information collected through interviews was important to map CLT research needs in Norway and to form proposals for further research. Common construction and design principles, production progress and routines were also mapped, and serves as the main information source for much of the content in the construction guide.

During the interview process a network was created between the authors and competent, helpful and engaged people with CLT construction experience. In the further research it was a natural choice to continue the communication with these people. Communication with the industry in further research is important as the main objective is to fil a knowledge gap which is partially pointed out by the industry.

2.2. Document study

A document study is the process for gathering, reviewing and interpret printed and electronical material [15]. The document analysis requires a qualitative review and interpretation of the content in documents, to gain an understanding and develop empirical knowledge [15]. A document study is a useful method to reveal the focus of an entire group [16], which in this study is the construction industry. A structured review of the documents is an iterative process which requires carefully rereading of the sorted data [15]. A document study is a frequently used method and serves as a supplying source of information in qualitative research, for instance together with interviews [13]. In this study the inspected material mainly appears as project documents containing CLT construction design in form of CAD-illustrations and drawings. The information gained through analysis of the documents reveals important subjects related to CLT design. This information is used and applied to create similar documents, more precisely construction details in the guide. Something to take into consideration is that the material in a document study is not specifically made to provide details helping answer the research objective [15]. On the contrary, the material can serve

organizational interests, and is specialized for other purposes. Awareness and objectivity when analyzing is therefore important [13]. In this study, these are important factors, considering that many project-specialized construction details shall be interpreted and converted to intend to be as general illustrations as possible.

The process of collecting documents started during the interview process. Participating actors were asked to share project documents such as construction details containing CLT design. After mapping research needs and forming the approach in the further research, the communication continued, and more documents were collected. The purpose of collecting construction details was to use them as a base for creating recommendations for CLT construction design. Showing illustrations on recommended design is an important part of typical Norwegian guides from *SINTEF Community*. A structured setup to have overview and a plan for reviewing the details were made. Listing all details in a data sorting sheet made it possible to classify and sort the documents and details by actor, project, construction part, content and assumed relevance. Chapter 3 describes the results and further processes with the analyses.

2.3. Quality assurance

One of the main objectives in this study, is to create a guide which is useful for the industry. Close communication with both research institutions and the industry has been important for the methodical approach. Firstly, communication with the industry was important to map research needs and collecting information and insight in subjects which is natural to include in a construction guide. A measure to retain the industry's interests and input was to allow the participants to quality assure the created guide. The quality assurance produces further evidence to the findings. Participants may add additional information which was overlooked or not available in the initial data collection period [13]. This will also reduce the likelihood of false reporting [13]. Quality assurance is done both in the interview process and in the guideline creation process. In the interview process, this is reflected through approvement of the written reports [6]. This secures that the authors interpretations of the interviews are correctly.

When creating guidelines, communication with representatives from *SINTEF Community* was decisive. Early in this process a meeting between the author and the Department of Knowledge at *SINTEF Community* were held. A tutorial and introduction in how guides normally are made was given. This guided the author to know which approach and methods would be advantageous to apply in the continuation in the study. The meeting also included reflection on content and formalities regarding written language and layout. For guidance regular correspondence with people in *SINTEF Community* was held.

A comprehensive quality assurance process started after creating a guide draft. More than 25 people in the industry and research community were contacted and asked to participate. This includes the 11 actors which shared documents and some of the other 19 interviewed people. Additionally, people with CLT knowledge recommended through other participants, were asked to participate. A selection of researchers at *SINTEF Community* were selected to participate, depending on their specialization topic, so the guide would be inspected from different angles, covering fire safety, acoustics, and moisture design. A scheme including questions about building physical and technical aspects was sent to the participants, so this would be considered when reading the draft. Especially, they were reminded to inspect the construction details. Additionally, it was asked if the guide possibly will fill a knowledge gap and need for literature in the industry. The feedback from the actors affected the content in the guide, as it was corrected after receiving feedback.

As findings from a document study should not be interpreted as the unmitigated truth [13], quality assurance has been an important measure to give the findings higher validity. At the end of the study, the revised guide was looked at by the people who gave the introduction on how to create a guide in the Department of Knowledge at *SINTEF Community*.

2.4. Triangulation

A qualitative study should seek at least two sources of evidence for the same findings [15]. This is an important principle in research work, called triangulation. In other words, this means that the study should use a combination of methods and sources of information to study the same phenomenon [15]. Triangulation of observations is important in order to consider the validity of collected information. This is dependent on which grade the phenomena observed in the different sources converges or diverges. In this study, the principle of triangulation has played an important role

for the approach. The triangulation has consisted of three different methods; literature review, interviews, and document study. Additionally, the quality assurance process strengthens the findings.

As described in Wahlstrøm et al [6], in the interview process, there was triangulation through both reviewing existing literature and collecting information from the industry. Investigating literature was important to map subjects and focus covered (and not covered) in existing literature. The interviews mapped the research needs from a different point of view than the literature. This helped reveal contradictions between written knowledge and the industry consensus. The findings in the two sources of information corroborated each other. The principle of triangulation is extended into further research by adding another source of information. The document study is applied to create recommendations in CLT design. Findings in the documents can be compared with both construction details in existing literature and the information given from the actors in the interviews. When comparing collected documents and literature, contradictions in design can be spotted. Comparing information in documents with interviews, the document will serve as quality check of the interview content.

3. Results

3.1. Results from document study

More than 400 documents related to CLT construction were collected from 11 actors representing 12 projects. Mainly documents containing CAD-drawings and illustrations showing CLT building design were obtained. Though, due to business confidentiality, copyright of documents, different document set-up used in projects (mounting details or construction details), various types of documents were received. The received documents were divided into three main categories: *construction details*, *mounting details*, and *other documents*. *Other documents* were typically internal guidelines for CLT construction, fire safety penetration guidelines or project information documents. Although, all types of documents were useful in the interpretation and analysis process. Table 1 below presents the overview of collected documents, sorted by category. Further statistics from the document study is presented in the master thesis [12].

Tab. 1. Overview of collected documents by category

Construction details	Mounting details	Other documents	Total
293	73	42	408

There were two types of document sharing policies. A few actors gave access to all documents in project, not only the construction and mounting details. These documents are not counted in the 400 documents. This gave a large number of documents and a comprehensive selection process. Most of the actors had already sorted out the most relevant construction details before sharing. The number of collected details from these actors therefore was lower, but just as relevant as from documents the other actors.

Extracting information from the document study was done through systematic analysis, sorting out the most relevant documents. This was an iterative process which started when the documents were received and continued during the creation of construction details. The relevance was dependent on building components illustrated, use of CLT in the detail, and qualitative judgement by the author. The selection of relevant documents was easier while drawing details, since the relevance could be determined consecutively. The result of the selection process turned out to be interesting. In the end just 30 construction details were selected to be highly relevant. Additionally, mounting details were investigated to understand how the CLT elements are connected to each other. A main reason for the low number of highlighted details is partly because the guide wanted to show CLT in all building components. However, many of the collected details just partly contained CLT, i.e. CLT in combination with other materials, such as concrete, brick, steel and with framework systems. Additionally, the projects represented were mainly educational buildings (schools and kindergartens) or commercial buildings, not detached residential houses.

As a consequence of few relevant documents known literature was inspected. Mainly three handbooks containing construction details were inspected [3, 9, 17]. These handbooks turned out to be just as relevant as the collected

documents. However, a combination of the two information sources were used to create the illustrations. Layout and designing the details was also done with supervising from *NTNU* and *SINTEF Community*.

3.2. Construction guide

Extracted information from the interviews and document study created the background for developing a construction guide. The guide concerns CLT building construction, with an emphasis on moisture safe design and rational progress. Instructions are explained by subject and recommended design using CLT in all building components is showed through construction details. Both are created with the purpose to ease the fulfilment of governmental building regulations. Construction details showing CLT in exterior walls, window insertion, slabs and roofs are drawn by the author in the software *AUTOCAD 2019*. The construction details take base in a maximum 3-story detached residential building, to avoid close analysis on acoustic and fire safety regulations and requirements. The guide consists of 16 pages with instructions and illustrations, and therefore adapts the format used in construction guides published by *SINTEF Community*. To be relevant for the Norwegian construction industry, the guide is written in Norwegian and customized to fit into Norwegian building traditions. Still, it is not confusingly similar as guide from *SINTEF Community.* One of the drawn illustrations is showed in the figure 2 below. The full-size guide edition is a part of the master thesis [12].

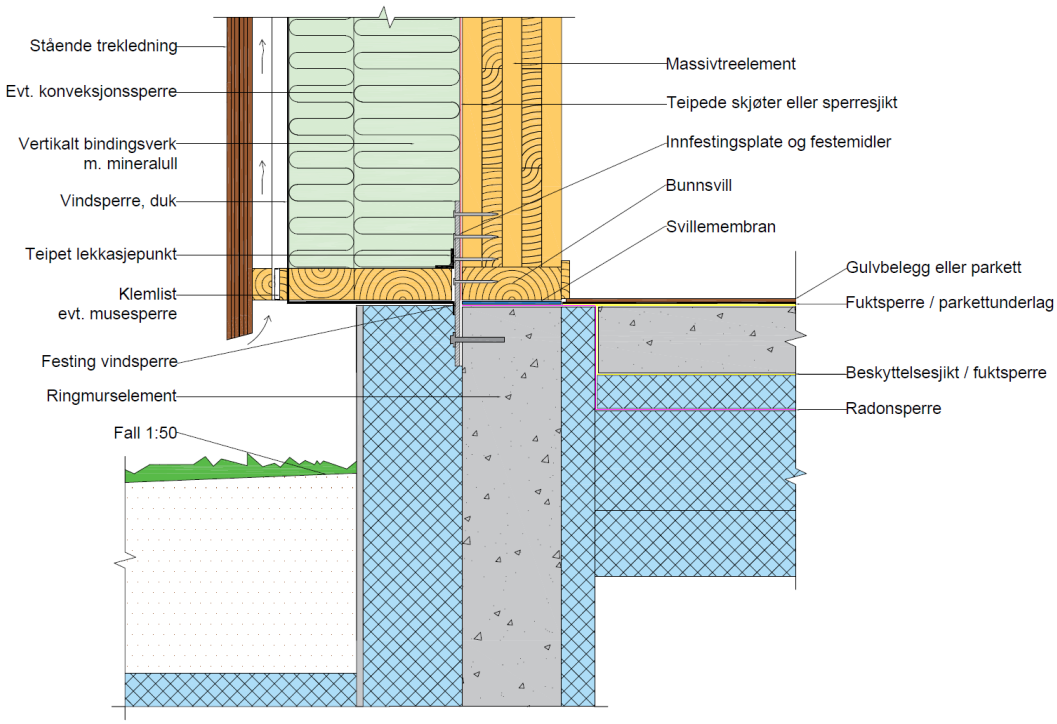


Fig. 2. Recommended design for foundation of exterior CLT wall on concrete floor slab [12].

3.3. Quality assurance process

After three-week review period, 16 out of the 25 people had responded and reviewed the guide. To get more respondents, the review period should have been extended. This was not possible due the author's deadline.

In general, the reviews gave important input to the guide, through both supporting and constructive feedback. The scope and format of the comments varied between the actors from short messages to detailed comments on specific sentences and sections. Some major lines from the review are represented below.

Many actors express that the most important subjects and issues are included and elucidated. People highlight the importance of developing CLT construction guidelines. The guide works as a demonstration and is the beginning of

discussing the subject. Additionally, many reviews were supportive of the choices made in design principles and solutions. Deviation within specific subjects exists, which is also reflected in various design in the collected documents. Some actors shared additional information which was added to the content. This was useful for discovering aspects which not was considered in the first place. An example was that many reviews commented on the possibility to use wood fiber insulation systems, which was added to the guide. Other comments highlighted linguistic formulations and corrections. These often led to reformulation of sentences and paragraphs to avoid misunderstandings.

4. Discussion

In this article we set out to demonstrate how to create high quality guidelines on Cross-laminated timber (CLT) building construction. Quality assurance and review from participating actors indicate that the collected information and guide can serve as a base for developing updated CLT guidelines. However, some aspects regarding the method and accomplishment should be discussed and further illuminated.

Regarding the document study, after analyzing the collected documents just 30 out of 408 details were classified as highly relevant. This does not necessarily mean that CLT is unsuitable for residential buildings, but that actors use CLT in more comprehensive projects. Higher priority to seek detached residential building projects could have given more relevant details. Many construction details were not highlighted as relevant, since CLT was used in combination with other materials. This indicates that it is expedient to combine CLT with other materials, and that buildings using CLT in all building components are seldom. However, a detail could be useful even if it not was highlighted, such as some mounting details. Another reason for few highlighted details, is the fact that a construction detail is created to serve a purpose for a specific project. A construction guide should make as general and flexible recommendations and illustrations as possible. Therefore, turning the specific into the general, was challenging. Illustrations in the investigated international handbooks from Sweden [17] and Austria [3] therefore turned out to be just as relevant as the collected documents. Using international literature when developing CLT guidelines is therefore an important information source. Though, adaption to Norwegian building traditions was necessary, for instance regarding the desire to have visible CLT surfaces in Norway.

In total the quality assurance process fulfilled its objective, reflected through both supportive and critical reviews. A detailed questionnaire would probably had given more uniform reviews, but then the reviewing could have been too time consuming for people to participate. Positive and supportive comments indicate that important issues and content are represented correctly. If something was presented sensationally wrong, this would have been highlighted by the actors [13]. The content was affected by the reviews, as information was added. This supports aspects described in chapter 2.3.

In this study, each applied method results in a lot of information to analyze and interpret, and it can be challenging to extract the most essential information. Seeking evidence through different methods has therefore been an important measure to observe and highlight the most critical subjects. Extraction of the most important subjects is also reflected through content limitations in the guide. Building physics and moisture safe design is two disputed subjects which needs clearer guidelines. The guide therefore serves as a demonstration on how CLT guidelines can be published. To serve as a complete CLT construction guide, the CLT subject is too comprehensive.

The principle of triangulation is recurring through the study. Corroborative findings through different methods gives the results validity and credibility. Findings in the document study support findings in previous studies [6]. The quality assurance approves the processed information represented through the construction guide. Hence, the content should be representative of the CLT building construction situation in Norway today. Hopefully the guide will inspire research institutions when developing updated literature concerning CLT building construction. *SINTEF Community* has already shown interest in this study through participation and guidance. This indicates that future research opportunities and publishing of updated CLT literature is imminent.

5. Concluding remarks

Through this study, it is demonstrated that it is possible to fill a gap in knowledge by using actors in the construction industry as an information source, combined with guidance from research communities. To seek alternative sources

of information is useful, especially when existing literature is limited. The combination of different case study research methods provided engagement from experienced people, which gave a substantial amount of collected information to analyze and interpret. Findings in interviews, document study and quality assurance are corroborative and highlights the most important subjects regarding CLT construction. Investigating known literature has also been an important source to confirm findings. When Norwegian literature is limited, the international literature serves as an important information source. The principle of triangulation is recurring through the study and gives the results validity and credibility, due to corroborative findings.

Developing a construction guide was an advantageous format for presenting the processed information. The developed guide works as a demonstration on a typical Norwegian construction guide. The format provides for presenting instructions and illustrations which can make it easier to fulfill governmental building regulations. The need of updated guiding CLT literature is reflected in the engagement from both the industry and research institutions. Actors express the importance of starting discussions and developing guidelines. Both supporting and constructive comments from the quality assurance process affected the guide content. Hence, the guide should represent the state-of-the-art on CLT building construction in Norway.

From now on, it is the research institutions concern to develop and publish legal and updated CLT guidelines. Hopefully, the guide will inspire research institutions. The participation, engagement and guidance from *SINTEF Community* indicates that further research and publishing of updated CLT literature is imminent. However, this requires competence and adequate empirical experience concerning CLT construction. Closer collaboration between the industry and the research institutions can be an important measure for increased knowledge transfer and can ease the work of developing CLT building construction guides.

Acknowledgements

The author wishes to thank professor in building materials at *NTNU* and *Klima 2050*, Tore Kvande, for close supervision on the master thesis which this article is a part of. Also thank to all actors and persons which have shared their time and participated in interviews, document research and quality assurance process.

References

[1] Mallo MFL, Espinoza O. **Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States.** Bioresources.com 9(4) 2014;7427-7443.
[2] Regjeringen [Norwegian Government]. **Markedet for massivtre er i sterk vekst** [CLT Market is Growing]. 2017, https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/markedet-for-massivtre-er-i-sterk-vekst/id2578870/
[3] Teibinger M, Matzinger I. **Construction with Cross-Laminated Timber in Multi-Storey Buildings**. Wien: Holzforschung Austria; 2013
[4] Skullestad JL, Bohne RA, Lohne J. **High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure – A Comparative LCA of Structural System Altarnatives.** Energy Procedia 96 (2016) p. 112–123
[5] Tellnes LGF. **Fokus på tre nr. 58. Miljødeklarasjoner for tre og trebaserte produkter** [Focus on wood 58 - Environmental Declarations for Wood-Based Products]. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2016
[6] Wahlstrøm S, Gullbrekken L, Elvebakk K, Kvande T. **Experiences with CLT Construction in Norway.** To be submitted to 12th Nordic Symposium of Building Physics (NSB2020), Norwegian University of Science and Technology; 2019
[7] Time B, Geving S, Friquin KL, Grynning S, Noreng K, Sandland KM. **Tak basert på massivtreelementer** [CLT based roof assemblies]. Project report 30. Trondheim: SINTEF Byggforsk; 2008
[8] Skogstad HB, Gullbrekken L, Uvsløkk S. **Massivtre – Luftgjennomgang og behov for sperresjikt** [CLT – Air Leaks and Vapor Barrier Needs]. Project report 81. Trondheim: SINTEF Byggforsk; 2011
[9] Aasheim E (Ed.) **Håndbok – bygge med massivtreelementer** [Handbook – CLT Construction] Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006
[10] SINTEF Community. **SINTEF Community.** 2019, https://www.sintef.no/en/community/#/
[11] Norwegian Institute of Norwegian of Wood Technology. **Publications**. 2019, http://www.treteknisk.no/english/publications
[12] Wahlstrøm S. **Guidelines for CLT Construction**. Master thesis. Norwegian University of Science and Technology; 2019
[13] Yin, RK. **Case Study Research**. 5th ed. United States of America: Sage Publications; 2009. p. 98-125.
[14] Hauge ÅL, Flyen C, Almås AJ, Ebeltoft M. **Klimatilpasning av bygninger og infrastruktur** [Climate Adaptions in Buildings and Infrastructure]. Klima 2050 report 04. Trondheim: SINTEF Byggforsk; 2017.
[15] Bowen G. **Document analysis as a qualitative research method**. Qualitative research journal 2009; 9(2). p. 27-40
[16] Weber RP. **Basic Content Analysis**. 2nd edition. United States of America: Sage Publications; 1990
[17] Borgström E, Fröbel J. **KL-trähandbok** [CLT Handbook] Stockholm: Svensktträ; 2017.

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

S. Wahlstrøm[1] og T. Kvande[1]

Erfaringer med bygging i massivtre

«Fra ekspertene: NTNU» i Byggeindustrien nr. 3-2019.

[1]Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)
www.ntnu.no

INGRESS: Vi har gjennom et studentarbeid kartlagt kunnskapsbehovet i byggenæringen om bygging med massivtreelementer. Erfarne aktører mener det ikke er flere bygningstekniske og bygningsfysiske utfordringer med bygging i massivtre enn med andre materialer. Den største utfordringen er å tilfredsstille forskriftskrav til akustikk og brann. Oppdaterte og tydelige anvisninger er spesielt etterspurt.

Innlegget oppsummerer hovedresultater fra intervjuundersøkelsen *Simen Wahlstrøm* gjennomførte i emnet TBA4521 Bygnings- og materialteknikk, fordypningsprosjekt, høsten 2018.

Innlegget er skrevet av Simen med veiledning fra *Tore Kvande.*

Simen Wahlstrøm

Tore Kvande

Bruk av sperresjikt i massivtrekonstruksjoner varier. Her er skjøtene mellom elementene tapet på utvendig side, mens andre kan bruke dampsperre eller dampbrems. *Foto: Tore Kvande.*

Erfaringer med bygging i massivtre

Vi har gjennom et studentarbeid kartlagt kunnskapsbehovet i byggenæringen om bygging med massivtreelementer. Erfarne aktører mener det ikke er flere bygningstekniske og bygningsfysiske utfordringer med bygging i massivtre enn med andre materialer. Den største utfordringen er å tilfredsstille forskriftskrav til akustikk og brann. Oppdaterte og tydelige anvisninger er spesielt etterspurt.

Simen Wahlstrøm og Tore Kvande
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Bygninger der krysslaminerte treelementer (massivtre) utgjør komponenter som vegger, tak og etasjeskillere, har blitt en stadig mer anvendt byggemetode de siste årene. Det er ventet økt bruk også i fremtiden, blant annet på grunn av elementenes positive miljøegenskaper. Tross økt bruk og høy popularitet i media er det innad i byggenæringen en debatt hvorvidt bygging med massivtre er en hensiktsmessig byggemetode med tanke på byggeteknikk, kostnad og miljø.

Gjennom et prosjektarbeid i samarbeid med SINTEF Byggforsk er det gjennomført 19 intervjuer med forskjellige aktører (byggherrer, rådgivere, entreprenører og leverandører) med relevant erfaring med bygging med massivtreelementer. Fokuset var å kartlegge bygningstekniske og bygningsfysiske utfordringer. Resultatene av intervjuene, samt undersøkelse av nasjonal og internasjonal forskningslitteratur, viser tydelig at det er behov for å samle kunnskap om massivtrebygging.

Upresist kunnskapsgrunnlag

Ved undersøkelse av litteratur fremkommer det at det finnes lite nasjonal litteratur med retningslinjer for bygging med massivtre. Anvisninger i Byggforskserien og Trefokus er utdaterte og lite relevante for bruk i næringen i dag. Eksisterende litteratur er også tvetydig, for eksempel hvorvidt det bør brukes sperresjikt (vind- og dampsperre) i ytterkonstruksjoner med massivtre. Aktørene løser derfor dette ulikt.

Overraskende funn

Noe overraskende viser resultatene at aktørene ikke opplever særlige bygningstekniske og bygningsfysiske utfordringer knyttet til bygging i massivtre sammenlignet med andre konstruksjonssystemer. Den største utfordringen de intervjuede aktørene oppgir, er knyttet til tilfredsstillelse av krav, særlig til brann og akustikk. Utførelse og valg av sperresjikt er et tema som i næringen blir tildelt mindre oppmerksomhet, og avhenger i større grad av den aktuelle rådgiveren.

Mangel på dokumenterte løsninger

Mangel på dokumenterte løsninger som tilfredsstiller krav til brann og akustikk sees på som en hovedutfordring og som en nøkkelen for enklere og mer enhetlig bruk av massivtre. Dette trekkes fram som et viktig fokusområde for videre forskning.

Et generelt manglende kunnskapsgrunnlag fører til at det prosjekteres nye løsninger for hvert prosjekt hvor massivtreelementer tas i bruk. Ofte brukes tidligere prosjekter med massivtre som utgangspunkt. Næringen ønsker flere anvisninger med dokumenterte løsninger som vil gjøre det enklere å ta i bruk massivtre. Her vil oppdaterte anvisninger i Byggforskserien være et viktig tiltak.

Forskningsfokus

Mangel på eksisterende nasjonal forskning fører til at aktørene foretrekker å forske internt. Intervjuobjektene mener forskningsinstitusjonene har et ansvar for å forske innenfor tema som er nyttig for utførende aktører. Bedre samspill mellom forskningsinstitusjoner og næringen vil være viktig for avklaring av fokus for videre forskning og finansieringsmodeller for forskningen.

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

S. Wahlstrøm[1] og T. Kvande[1]

Etterspurt massivtreanvisning

«Fra ekspertene: NTNU» i Byggeindustrien nr. 9-2019.

[1]Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)
www.ntnu.no

INGRESS: Kartlegging av kunnskapsbehov for bygging i massivtre viser at oppdaterte og tydelige anvisninger er etterspurt. En fersk masteroppgave fra NTNU har ved hjelp av aktører i næringen utarbeidet en anvisning for bygging med massivtre. Anvisningens fokus er riktig fuktteknisk utførelse og rasjonell framdrift.

Innlegget gir et sammendrag av masteroppgaven til *Simen Wahlstrøm* og er skrevet av Simen med veiledning fra *Tore Kvande.*

Simen Wahlstrøm

Tore Kvande

Etterspurt massivtreanvisning

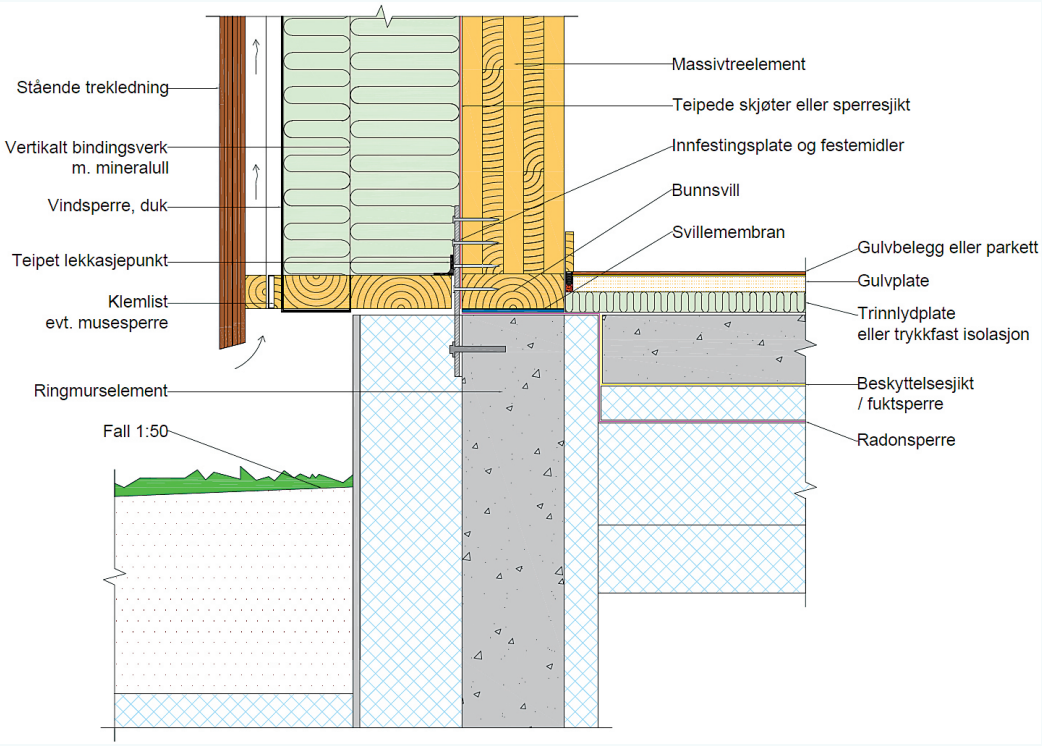
Kartlegging av kunnskapsbehov for bygging i massivtre viser at oppdaterte og tydelige anvisninger er etterspurt. En fersk masteroppgave fra NTNU har ved hjelp av aktører i næringen utarbeidet en anvisning for bygging med massivtre. Anvisningens fokus er riktig fuktteknisk utførelse og rasjonell framdrift.

Simen Wahlstrøm og Tore Kvande
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Bygging med krysslaminerte treelementer (KLT, også kalt massivtre) er en relativt ung byggemetode, men den blir stadig mer populær. NTNU og SINTEF Byggforsk har tidligere kartlagt kunnskapsbehovet for bygging i massivtre gjennom intervjuer med 19 aktører i byggenæringen. Resultatene viser at det er behov for mer litteratur om bygging i massivtre, se «Fra ekspertene: NTNU» i Byggeindustrien nr. 3/2019. Det finnes få anvisninger, og disse oppleves utdaterte og lite relevante til bruk.

Simen har i sin masteroppgave forsøkt å svare opp næringens ønske om mer veiledende litteratur. Arbeidet oppsummeres i en anvisning inspirert av Byggforskserien. Grunnlaget for anvisningen er:

- erfaringer fra 19 intervjuer gjort med forskjellige aktører med massivtreerfaring
- undersøkelse av innsamlet prosjekteringsunderlag med detaljtegninger fra de samme aktørene
- resultater fra tilgjengelig forskningslitteratur



Detalj for overgang ringmur mot yttervegg med påført vertikalt bindingsverk. *Illustrasjon: Simen Wahlstrøm.*

Allsidig anvisning

Anvisningen omhandler hvordan massivtre kan brukes i bygninger. Den tar utgangspunkt i eneboliger på inntil tre etasjer hvor massivtreelementer blir brukt i bygningsdelene tak, vegg og gulv. De omtalte prinsippene og løsningene er også relevante for rådgivere og entreprenører ved prosjektering og utførelse av større prosjekter. Anvisningen har særlig fokus på utførelse som er gunstig for å få en fuktsikker konstruksjon og en rasjonell fremdrift.

Detaljer for utførelse

Gjennom masteroppgaven er det samlet inn over 400 dokumenter i form av prosjekteringsunderlag og byggdetaljer fra mer enn 10 aktører og 11 prosjekter. Et strukturert studie av dokumentene har lagt grunnlaget for de konstruksjonsprinsipper og anbefalinger som presenteres i anvisningen. Anvisningen inneholder detaljer for utførelse av yttervegg, tak og vindusinnsetting, alle med synlig massivtre som innvendig kledning.

Utforming

Grunnet manglende anvisninger i Byggforskserien i dag, er oppsummeringen fra masteroppgaven utarbeidet med mål om å likne mest mulig på hvordan en slik anvisning kan se ut. Innledningsvis ble det derfor holdt møte med SINTEF Byggforsk om arbeidsmetode for utarbeidelse og strukturell oppbygging av anvisningen. Underveis har SINTEF Byggforsk bidratt med veiledning og tilgang til interne skriveregler slik at innholdet i anvisningen forekommer i samme ordlyd som i Byggforskserien.

Kvalitetssikring

At anvisningen skal dekke et behov, slik at det kan være nyttig for næringen, har vært et viktig fokus i masteroppgaven. For å ivareta næringens interesser har det vært et omfattende kvalitetssikringsarbeid. Anvisningen er sendt på høring til over 20 personer i næringen for at relevante innspill og kommentarer kan påvirke innholdet i anvisningen.

Spiller ballen videre

Gjennom denne masteroppgaven er det demonstrert at det er mulig å dekke et kartlagt behov for informasjon og kunnskap om massivtrebygging gjennom samarbeid med byggenæringen. Informasjonen brukt i oppgaven er i stor grad kvalitetssikrede erfaringer med virkelige tilfeller fra næringen. Forhåpentligvis vil arbeidet være en inspirasjon for Byggforskserien til å utarbeide flere anvisninger om bygging med massivtre. Slike anvisninger er viktige for å dekke næringens og samfunnets behov for mer informasjon om miljøvennlig bygging med massivtre.

NTNU

Kunnskap for en bedre verden