

# Sammenligning av massivtre- og bindingsverkmoduler – egenskaper og knutepunkter

Comparison of CLT and timber frame modules – characteristics and connections

**Trondheim Mai 2020**

Navn studenter:

Joar Svindland  
Abdullah Habibi

Intern veileder:  
Terje K. Fossheim

Ekstern veileder:  
Joakim Dørum

Prosjektnr:  
20- 2020

Rapporten er ÅPEN

Besvarelsen består av følgende antall delrapporter:  
Rapport + vedleggsdel=2



**NTNU**

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

## Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og resultatmål

I denne oppgaven skal gruppen gjøre en sammenligning av moduler med massivtre og moduler med bindingsverk. Hovedfokuset vil være på de ulike egenskapene ved bruk av henholdsvis massivtre og bindingsverk i modulene, samt oppbygging av modulene og sammenføyningene mellom modulene.

Prosjektet deles inn i fire faser: Den første fasen er forprosjektet. Deretter følger det to hovedfaser, hvorav den første dreier seg om å skaffe nødvendig litteratur og skrive mesteparten av rapporten. I den andre hovedfasen skal gruppen produsere figurer og tegninger til rapporten, i tillegg til å ferdigstille rapporten. I den siste fasen – slutfasen – skal gruppen skrive artikkel, lage plakat og presentasjon, og klargjøre for innlevering.

Resultatmålet med oppgaven er å danne et oversiktlig bilde over de positive og negative sidene med modulbygg når det brukes henholdsvis massivtre og bindingsverk. Fordeler og ulemper med modulene skal også ses i lys av plassbygde byggeprosjekter. Videre skal gruppen presentere mulige byggetekniske løsninger og sammenføyninger for moduler, i hovedsak ved bruk av massivtre.

Stikkord fra prosjektet:

- Modulbygg
- Massivtre (KL-tre)
- Bindingsverk
- Materialeegenskaper
- Lydforhold
- Brannsikkerhet
- Bygningsfysikk
- Miljø
- Økonomi
- Sammenføyninger/knutepunkt

## Forord

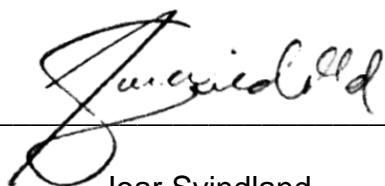
Denne bacheloroppgaven er utarbeidet våren 2020 av Joar Svindland og Abdullah Habibi. Vi er to studenter som har spesialisert oss innen Husbyggingsteknikk det 5. semesteret. Dette er den avsluttende oppgaven for 3-årig bachelor ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Oppgaven har et omfang på 20 studiepoeng og er skrevet i samarbeid med Green Advisers AS. Vi bestemte oss tidlig for at vi ville skrive om moduler av massivtre og bindingsverk. Både massivtre som byggemateriale og modulbygg blir stadig mer populært, og vi ønsket derfor å skaffe oss kompetanse rundt dette som vi kan dra nytte av senere i arbeidslivet.

Bacheloroppgaven går ut på å sammenligne moduler med massivtre og moduler med bindingsverk. Hovedfokuset har vært på å egenskapene til modulene, oppbygging og metoder for sammenføring, slik at modulene oppfyller nødvendige funksjoner og krav. For å løse problemstillingen har vi brukt tidligere kunnskap fra studieløpet og fordypet oss ytterligere i de forskjellige fagområdene underveis.

Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med ekstern veileder Joakim Dørum fra Green Advisers AS og intern veileder Terje K. Fossheim fra NTNU. Vi ønsker å takke begge veilederne for hjelp og faglige innspill til arbeidet. Vi vil også takke Erlend Johansen i Splitkon AS og Leif Buan i Skanska Husfabrikken som har stilt opp til intervju og befaring.

Grupped medlemmene godkjenner hverandres arbeid ved å underskrive dette.

Trondheim 20 mai 2020



---

Joar Svindland



---

Abdullah Habibi

## Sammendrag

Denne rapporten setter søkelys på egenskapene til massivtre og bindingsverk når materialene brukes i byggmoduler. Industrialisering av byggeprosessen ved bruk av moduler har økt både effektiviteten og rasjonaliteten i byggenæringen i dag. Det er stort potensiale og gode fremtidsutsikter både når det gjelder moduler generelt og for bruk av trematerialer i moduler. Massivtre er et nokså nytt materiale, og det er så langt ikke vanlig å produsere moduler i Norge med dette som hovedmateriale. Gruppen ønsker derfor å gjøre en sammenligning av moduler med massivtre og bindingsverk, og til slutt presentere et forslag til hvordan moduler av hovedsakelig massivtre kan utføres. Tanken er at disse modulene skal være så fleksible som mulig, altså at de er i stand til å imøtekomme ulike funksjoner og forskjellige byggeprosjekter.

Prefabrikasjon og prekapp er tiltak som kan bidra til å redusere og håndtere avfallsmengdene på byggeplasser. Ved å flytte produksjonen av byggmoduler til innendørs fabrikker kan arbeidet enklere standardiseres og dermed effektiviseres. Produksjon av moduler i fabrikker vil redusere byggefeil og øke kvaliteten på sluttproduktet. Tidlig og grundig planlegging er avgjørende for at byggmoduler skal være hensiktsmessige i byggeprosjekter. Høy byggeaktivitet i Norge sammenlignet med resten av Europa har ført til økt import av prefabrickerte elementer og moduler fra hovedsakelig Øst-Europa, hvor arbeidskraft og materialer er billigere. De største fordelene med prefabrikasjon er kortere byggetid, bedre kvalitet og forutsigbar økonomi i prosjektene.

Den tradisjonelle byggemetoden i Norge er bindingsverk, mens høyere bygninger stort sett har blitt oppført i betong og stål. Det er på tide å bruke kunnskapen om massivtre som et miljøvennlig og bærekraftig materiale til bygging av alt ifra småhus til store og komplekse bygninger. Massivtre har god bæreevne og brannmotstand, og kan være et godt alternativ når bindingsverk kommer til kort.

Gruppen har gjennomført intervjuer av flere element- og modulprodusenter. Mange av produsentene har ikke erfaring med massivtre, og er noe skeptiske til materialet, blant annet fordi det er såpass nytt i norsk sammenheng. De produsentene som derimot har erfaring med massivtre påpeker at materialet kan løse mange utfordringer som ikke lar seg løse like lett med bindingsverk, men at det er viktig at entreprenører har kunnskap om hvordan massivtrekonstruksjoner bør utføres, hvordan massivtre reagerer på fukt og hvordan de derfor må beskyttes. I Norge må kunnskapen angående massivtre

økes, slik at flere ønsker å ta i bruk teknologien. Hvis det blir større tilgang på massivtre vil prisen sannsynligvis gå ned over tid, noe som er avgjørende for konkurransen.

Byggsektoren utgjør i dag 40% av klimagassutslippene verden over. Reduksjon innen denne næringen vil derfor bidra til å løse mange av problemene verden står ovenfor. Resultatene i rapporten viser at moduler med massivtre har bedre brannmotstand enn moduler med bindingsverk. Dette betyr at moduler i massivtre bevarer sin stabilitet og bæreevne under et helt brannforløp. Moduler i massivtre kan branndimensjoneres for å stå like lenge som de fleste mur- eller betong konstruksjoner og kan trygt brukes til bærekonstruksjoner i høye og komplekse bygg. Rapporten viser at det generelt er vanskelig å løse fuktproblematikken under transport, lagring og montering av begge modultypene. Både produsenter og entreprenører må alltid ha dette i bakhodet, slik at man unngår fuktskader i bygningene.

## Summary

This report seeks to highlight the difference of the technical characteristics of cross laminated timber (CLT) and timber frame structures when these materials are used in building modules. Industrialisation of the building process by using modules in large scale has increased both the effectivity and rationality of the construction industry. There is great potential and prospects when it comes to modules in general as well as the use of wood in modules. CLT is a rather new material, and producing modules using this material is not common in Norway. The bachelor group therefore want to compare modules with CLT and modules with timer frame structures, and in the end of this report present a system of how CLT modules can be built. The idea is that the modules should be as flexible as possible, to meet different functional requirements in different building projects.

Prefabrication and “precut” can contribute to the reduction and handling of waste in building sites. By moving the production of modules to inside factory halls the work can be standardised and made more efficient. The production of modules in factories will reduce production errors and improve the quality of the product. Early and thorough planning is crucial in making the modules suitable to each building project. High construction activity in Norway compared to other parts of Europe has led to high import of prefabricated modules, especially from Eastern Europe, where costs of labour and materials are lower. The greatest advantages of prefabrication are shorter construction time, better quality, and predictability of economics.

The traditional building method in Norway is timber frame structures, while large and tall buildings often are built using concrete and steel. It is about time that we start to use the knowledge regarding CLT as a green and sustainable material in the construction of everything from small houses to large and complex buildings. CLT has a high load bearing capacity, is good with regards to fire safety, and can be a good alternative when timber frame structures cannot meet the requirements.

The bachelor students have interviewed several companies who produce elements and modules. Some of the companies do not have experience using CLT, and are a bit sceptical to the material, mainly because it is rather new in Norway. However, the companies who do have experience with CLT say that the material can solve a lot of problems that are hard to solve using timber frame structures. They also point out that

the construction companies who builds with CLT need to have sufficient knowledge about the material, how it reacts to moist and how it should be protected. The knowledge regarding CLT must be increased in Norway in general, so that more people will choose the material. This will most likely lead to lower prices in a long term.

The construction industry constitutes 40 percent of the greenhouse gas emissions worldwide. A reduction of these emissions will help in solving the problems the world is facing. The results in this report show that modules with CLT are better regarding fire safety than modules with timber frame structures. This means that CLT modules stay stable and load bearing through a fire, and as long as concrete structures when planned correctly. The report also shows that solving issues regarding moist during transport, storage and assembling is difficult for both module types, but that it can be avoided by taking some precautions.

# Innholdsfortegnelse

1.	Introduksjon .....	1
1.1	Innledning .....	1
1.2	Omfang og avgrensninger .....	1
2.	Bakgrunnskunnskap: Massivtre .....	2
2.1	Hva er massivtreelementer? .....	2
2.2	Etterspørsel og fremtidsutsikter .....	3
3.	Bakgrunnskunnskap: Moduler .....	4
3.1	Historien til modulbygg .....	4
3.2	Prefabrikasjon .....	4
3.3	Ulike grader av prefabrikasjon .....	5
3.4	Fordeler og ulemper med prefabrikkerte moduler .....	6
3.5	Fremtidsutsikter .....	7
3.6	Tre ulike prosjekter .....	7
3.7	Produksjon av moduler .....	8
3.8	Transport av moduler .....	11
3.9	Heising av moduler .....	12
4.	Sammenligning av massivtre og bindingsverk .....	14
4.1	Konstruksjonsprinsipper .....	14
4.1.1	Materialegenskaper .....	14
4.1.2	Bæresystemer .....	15
4.1.3	Spennvidde for etasjeskillere .....	16
4.1.4	Sammenføyning av dampspærre og vindspærre .....	16
4.1.5	Montasje .....	17
4.2	Brann .....	18
4.2.1	Teori om brannforløp .....	18
4.2.2	Trevirkets oppførsel ved en brann .....	19
4.2.3	Sentrale begreper innen brannteknikk .....	20
4.2.4	Brannegenskaper: Bindingsverk .....	21
4.2.5	Brannhemmende tiltak .....	24
4.2.6	Brannegenskaper: Massivtre .....	25
4.2.7	Fuktinnholdets rolle i et brannforløp med massivtre .....	29
4.2.8	Branndimensjonering av massivtrekonstruksjoner .....	29
4.2.9	Massivtre- sammenlignet med mur- og betongkonstruksjoner .....	30
4.2.10	Vil brannen slukke av seg selv i massivtre? .....	30
4.2.11	Rehabilitering av massivtreelementer etter brannforløp .....	30



4.3	Lyd .....	32
4.3.1	Teori og sentrale begreper .....	32
4.3.2	Lydklasser .....	32
4.3.3	Lydproblematikk i trebygninger.....	33
4.3.4	Typiske problemområder og løsninger .....	34
4.3.5	Etasjeskillere .....	35
4.3.6	Innervegger .....	37
4.3.7	Knutepunkter .....	40
4.4	Bygningsfysikk del 1: Fukt og lufttetthet .....	41
4.4.1	Generelt om fukt .....	41
4.4.2	Vanlige fuktkilder .....	42
4.4.3	Konsekvenser som følge av fuktighet.....	42
4.4.4	Svinn og svell .....	43
4.4.5	Mugg og råte .....	44
4.4.6	Lufttetthet i massivtrekonstruksjoner .....	45
4.4.7	Byggfukt .....	46
4.5	Bygningsfysikk del 2: Energi og kuldebroer .....	48
4.5.1	Teori og sentrale begreper .....	48
4.5.2	Yttervegger av massivtre og bindingsverk.....	51
4.5.3	Oppsummering.....	54
4.6	Miljø .....	55
4.6.1	Trematerialers miljøegenskaper .....	55
4.6.2	Skogsdrift i Norge .....	57
4.7	Innemiljø .....	59
4.7.1	Luftkvalitet og temperatur .....	59
4.7.2	Miljø, trivsel og estetikk .....	59
4.8	Tekniske installasjoner.....	61
4.8.1	Massivtre .....	61
4.8.2	Bindingsverk.....	62
4.9	Økonomi.....	63
4.9.1	Kostnader i et byggeprosjekt .....	63
4.9.2	Forskjeller og likheter mellom de to modultypene.....	63
4.9.3	Massivtremoduler .....	65
4.9.4	Kostnadsberegning.....	65
5.	Innovative løsninger rettet mot massivtre .....	70
5.1	Hensikt.....	70
5.2	Glava Pluss System (GPS) .....	70

5.2.1	Generelt om Glava Pluss System.....	70
5.2.2	Komponenter i Glava Pluss System .....	71
5.2.3	Montering på vegg på stenderverk av tre .....	72
5.2.4	Montering på massivtreelement.....	74
5.3	Sammenføring av massivtremoduler uten metall.....	75
5.3.1	Generelt om systemet .....	75
5.3.2	Montering og nærmere forklaring .....	75
6.	Intervjuer og befaringer.....	78
6.1	Befaring hos Skanska Husfabrikken AS.....	78
6.2	Erfaringer fra andre element- og modulprodusenter .....	79
7.	Konklusjon .....	82
8.	Referanseliste.....	84
9.	Figurliste .....	90
10.	Vedleggsliste .....	91

# 1. Introduksjon

## 1.1 Innledning

Første del av denne rapporten vil ta for seg teori – om henholdsvis massivtre og prefabrikasjon av moduler – som er nødvendig for å forstå resten av rapporten. Deretter følger en sammenligning av massivtre og bindingsverk innenfor en rekke ulike temaer, samt intervjuer av og erfaringer fra produsenter, og et kapittel hvor gruppen undersøker noen fremtidsrettede produkter. Til slutt i rapporten er det en konklusjon, mens vedlegget inneholder et forslag til hvordan massivtremoduler kan utformes.

## 1.2 Omfang og avgrensninger

Bacheloroppgaven har et omfang på 20 studiepoeng og tidsrammen er på 19 uker. Det har derfor vært nødvendig å avgrense oppgaven. Det har krevd å utarbeide og beskrive løsningene på en god og oversiktlig måte slik at oppdragsgiver eller andre interesserte lesere lett kan senere dra nytte av det.

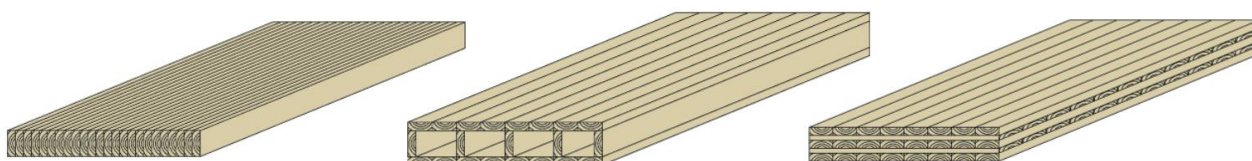
Oppgaven tar kun for seg produksjon av prefabrikkerte moduler som foregår i fabrikk, altså ikke prefabrikasjon på selve byggeplassen. Fokuset er på byggmoduler som er av den høyeste ferdighetsgraden som brukes i byggeprosjekter. Det er ofte transport som setter begrensninger for dimensjonene til disse modulene. Gruppen har valgt å ikke se på moduler i andre materialer – eksempelvis stål – eller baderomsmoduler.

Med massivtre så menes det i oppgaven KL-tre (krysslaminert tre), med mindre annet er spesifikt nevnt i teksten. Gruppen har fordypet seg i mange temaer knyttet til de to modultypene, og har fokusert mer på noen temaer enn andre. Dette kommer tydelig frem i besvarelsen ut ifra lengden og omfanget til de ulike temaene. Fokuset har vært på de ulike egenskapene til modulene, og knutepunktene til moduler av hovedsakelig massivtre, hvilket presenteres i slutten av rapporten. Denne rapporten består også av et kapittel hvor fremtidsrettede løsninger presenteres. Etter sammenligningen vil gruppen komme med en konklusjon.

## 2. Bakgrunnskunnskap: Massivtre

### 2.1 Hva er massivtreelementer?

Massivtreelementer er treplanker som er festet sammen til elementer ved hjelp av lim, spiker, skruer, tredybler eller stålstag. Hvilke av disse som brukes har mye å si for egenskapene til elementene. Elementene deles ofte inn i tre forskjellige typer, her forklart med bakgrunn fra håndbøkene til Treteknisk: (1)



Figur 1: Kantstilt element, hulromselement og krysslagt element (69).

#### **Kantstilte elementer:**

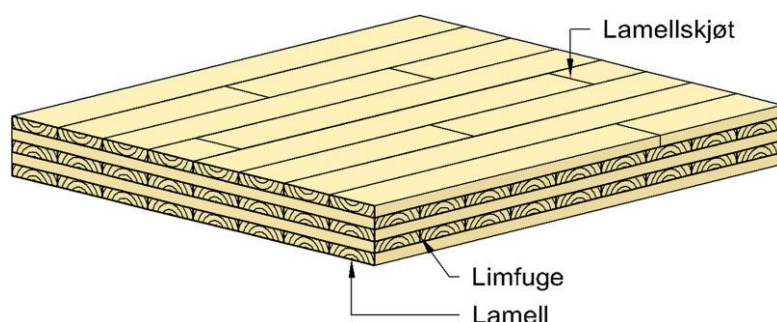
Elementer som er satt sammen av stående planker.

#### **Hulromselementer:**

Finnes ulike varianter, men kjennetegnes ved at elementet har et hulrom mellom øverste og nederste lag i elementet.

#### **Krysslagte elementer:**

Elementer som er satt sammen av planker i flere sjikt. Sjiktene er som regel lagt 45 eller 90 grader i forhold til hverandre. Dette er den vanligste typen massivtreelement, og et annet navn for den er KL-tre (krysslaminert tre). Det engelske navnet er CLT (Cross Laminated Timber). Når ordet massivtre eller massivtreelement blir bruk i denne rapporten så dreier det seg om denne typen.



Figur 2: Krysslagte elementer kjennetegnes ved at planker legges på kryss og tvers i flere sjikt (70).

## 2.2 Etterspørsel og fremtidsutsikter

En markedsanalyse publisert av Trebruk AS i 2017 anslo at forbruket av massivtre i Norge ville doble seg innen 2019 og overstige et totalt volum på 116 000 m<sup>3</sup> innen 2024 (2). En artikkel i Teknisk ukeblad fra 2017 støtter opp om synet på at massivtre som produkt vil bli mer ettertraktet. Blant annet bruker Splitkon 250 millioner kr på ny fabrikk og øker med det produksjonskapasiteten fra 10 000 til 60 000 kubikkmeter. Noen av årsakene til den økte populariteten rundt massivtre som trekkes frem er de positive egenskapene knyttet til miljø, den raske byggetiden, og at massivtre i mange tilfeller konkurrerer med stål og betong i bygninger (3).

## **3. Bakgrunnskunnskap: Moduler**

### **3.1 Historien til modulbygg**

For å danne seg et bilde av hvordan modulproduksjon begynte og hvorfor moduler benyttes, må man helt tilbake til den industrielle revolusjonen i England på slutten av 1700-tallet. Det var da maskiner begynte å overta produksjonen, for å effektivisere både arbeidet og bedre kvaliteten i hele produksjonslinjen. Maskinene førte til enorm økning i produktiviteten og la grunnlaget for dagens industrielle metoder og verktøy innen modulbygg som blir brukt i hele verden (4).

Modulbygg er ikke noe nytt fenomen i Norge. Det har vært brukt både permanente og midlertidige moduler i bygninger siden tidlig på 1960-tallet. På slutten av 1990-tallet begynte norske byggherrer å ta i bruk moduler for alvor i større byggeprosjekter, som boligblokker og leiligheter. Ifølge en SINTEF-rapport (5) produserer de fleste modulprodusenter på markedet trehusmoduler, mens noen få produserer moduler av stål. Høy byggeaktivitet i Norge sammenlignet med i resten av Europa har ført til økt import av prefabrikkerte elementer og trebaserte moduler fra Øst-Europa, hvor både materialer og arbeidskraft er billigere, noe som fører til lavere prosjektkostnader.

### **3.2 Prefabrikasjon**

I byggebransjen menes det med prefabrikkering at små eller store bygningselementer blir produsert innendørs i klimaregulerte produksjonslokaler. Etter at disse elementene er ferdigproduserte blir de for eksempel satt sammen til rommoduler som fraktes av gårde til byggeplassen. Ifølge Lara Jaillon og C.S. Poon (6) kan prefabrikkering også foregå på byggeplass, ved at bygningselementer blir laget på bakken før de heises på plass. Med prefabrikkering av bygningselementer kan byggetiden arbeidsmengden på byggeplassen reduseres betraktelig. I Norge har det tidligere vært vanlig med prefabrikkering av trapper, takstoler og innredning til selve huset (7). I dag er prekapp den vanligste formen for prefabrikkering av trehus, og med det menes det at alle byggematerialene blir kappet og bearbeidet på forhånd og blir merket etter et fastlagt system før de blir fraktet til og montert på byggeplassen. Noen eksempler på dette er taksperrer og gulvbjelker. Nå i nyere tid har det blitt mer vanlig å produsere store bygningselementer, som vegger, etasjeskillere og gulv, som blir satt sammen til store

moduler på fabrikken før de fraktes til byggeplassen (4). Prefabrikkering krever nøye detaljprosjektering før byggingen kan starte, og egner seg best til prosjekter med stor repetisjon, altså at de samme type element eller modul brukes flere steder i prosjektet (8).

I fabrikken foregår produksjonen under kontrollerte forhold, og luftfuktigheten blir regulert slik at faren for kondens, svinn, kryp og forlengelse av trematerialene minimaliseres. Ifølge Berg 2009 produserer byggenæringen årlig 1,5 tonn avfall eksklusivt i form av utgravingsmasser og sprengstein, og hevder at prefabrikasjon og prekapp vil bidra til å håndtere avfallsmengdene ute på byggeplasser (4).

### 3.3 Ulike grader av prefabrikasjon

Med prefabrikasjonsgrad menes hvor mye av et element som bygges før det fraktes til byggeplass og monteres. Byggeelementer kan ha varierende prefabrikasjonsgrad. Jo høyere prefabrikasjonsgrad på elementet, jo dyrere er det å produsere, men etterarbeid og tid spares på byggeplassen, som igjen er kostnadsbesparende (4).

Tabell 1: Ulike typer elementer (71)

Elementtype	Prefabrikasjonsgrad	Eksempel
Åpne elementer	Lav	Hulldekker, takstoler, bindingsverk
Ikke-volumetriske/lukkede elementer	Middels	Veggelementer, etasjeskillere, gulvelementer
Byggmoduler	Høy	Husmoduler, badromsmoduler

Nedenfor følger en forklaring av de tre typene fra tabellen over, i henhold til *Håndbok 5 Trehus og Tømrerteori – konstruksjoner i tre (7-8)*.

#### **Åpne elementer:**

Elementer som ikke er vindtette, dampette eller isolerte. Må komplementeres på byggeplassen. Slike elementer har lav prefabrikasjonsgrad.

#### **Lukkede elementer (Ikke-volumetriske elementer):**

Elementer med ferdig montert vindsperre, dampspærre og isolasjon, i tillegg til vinduer og dører. Et slikt element kan for eksempel være en yttervegg eller en del av et tak.

#### **Byggmoduler:**

På fabrikken blir disse modulene satt sammen av flere elementer (vegger, etasjeskiller og takkonstruksjoner) med høy grad av prefabrikasjon. I tillegg legges det inn tekniske installasjoner, rørkanaler, kabelopplegg og faste innredninger. I større bygg som hotell og sykehus er det ikke uvanlig at baderomsmoduler blir produsert separat, ofte med integrert toalett, badekar, armatur og røranlegg og andre tekniske installasjoner (7).

Byggmoduler kalles ofte volumetriske, da de allerede utgjør et volum av det ferdige bygget. Det er denne ferdighetsgraden rapporten kommer til å dreie seg om.

### **3.4 Fordeler og ulemper med prefabrikkerte moduler**

Prefabrikkering åpner for mange muligheter. Fordelene ved prefabrikkering av modulbygg kan oppsummeres til følgende: (9)

- Produksjonen foregår under kontrollerte forhold
- Arbeidet kan gå for fullt uavhengig av årstid
- Høyere ferdighetsgrad og færre arbeidsoppgaver på byggeplass fører til kortere eksponering for vær
- Kortere byggetid medfører mindre støy for naboer
- Bedre arbeidsmiljø som øker produktivitet og reduserer risiko for ulykker.
- Høy kvalitet og redusert risiko for feil
- Bedre kontroll over materialforbruk fører til mindre svinn



Det finnes også noen ulemper knyttet til prefabrikasjon av moduler, og disse kan oppsummeres til følgende: (9)

- Størrelsesbegrensninger med tanke på produksjonslokale og transport
- Begrensninger med tanke på plassering og føring av installasjoner
- Redusert uttørkingsevne, siden modulene allerede er lukket
- Utendørs langtidslagring av modulene kan medføre fuktskader og bevegelser i trematerialet

### 3.5 Fremtidsutsikter

Det er stort potensiale og gode fremtidsutsikter både for moduler generelt og for bruk av tre i moduler. En markedsundersøkelse konkluderer med at byggebransjen står for ca. 40 % av alle klimagassutslipp (5). Prefabrikkert blir mer og mer vanlig, og derfor er det også behov for flere og nye løsninger.

### 3.6 Tre ulike prosjekter

De siste årene har det blitt bygget flere høye trehus i Norge. Gruppen har valgt ut tre prosjekter som eksempler. De tre byggene er alle forskjellige, og illustrerer godt hvor mange måter høye trebygninger kan bygges på, avhengig av om det velges å bygge med massivtre, bindingsverk, limtre, eller en kombinasjon av disse og andre metoder.

#### Mjøstårnet

Type prosjekt (10)	Hotell, leiligheter, kontorer og badeanlegg
Sted	Brumunddal, Norge
Antall etasjer	18
Høyde (m)	85,4
Bæresystem	Bærekonstruksjoner med limtresøyler, -bjelker og -diagonaler Heis- og trappesjakter av massivtre Dekkelementer av limtre og kerto i de 11 nederste etasjene Øvrige etasjeskillere i betong



Figur 3: Mjøstårnet (72)

#### Treet

Type prosjekt (11)	Leiligheter
Sted	Bergen, Norge
Antall etasjer	14
Høyde (m)	51
Bæresystem	Hovedbæresystem av limtre med betongdekker i 5., 10. og 14. etasje Leilighetsmoduler av bindingsverk



Figur 4: Treet (74)

## Moholt 50|50

Type prosjekt (12)	Studentboliger, diverse næringslokaler, barnehage, parkeringsanlegg og bibliotek
Sted	Trondheim, Norge
Antall etasjer	9
Høyde (m)	27
Bæresystem	Kjeller og plan 1 av betong, mens plan 2-9 er av massivtre



Figur 5: Moholt 50|50 (97)

## 3.7 Produksjon av moduler

### Generelt om produksjon av bindingsverkmoduler

I Norge er det vanlig å produsere tak, etasjeskillere, yttervegger og innervegger som elementer (7). På fabrikken foregår produksjon av ulike elementer under kontrollerte forhold. Dette øker kvaliteten på sluttproduktet. Produksjonen kan foregå på tre ulike måten frem til elementene settes sammen til ferdige byggmoduler:

- **Automatisert produksjon av elementer**
- **Manuell produksjon av elementer**
- **En kombinasjon av disse to**

I denne delen forklares produksjonen av bindingsverkselementer pga. oppgavens begrensning og omfang. Resterende elementer som sammen utgjør hele byggmoduler, blir bygget på tilsvarende måte. Den påfølgende teksten beskriver hvordan

produksjon av elementer og moduler vanligvis foregår på fabrikk, og baserer seg på befaringen gjort hos Skanska Husfabrikken i Steinkjer og en tidligere oppgave (13).

### ***Automatisert produksjon:***

Alt fra kapping av materialer til vindtetting foregår automatisk på et stort samlebånd som gjerne består av ulike stasjoner. Alle stasjonene er bemannet med en person som legger inn materialene etter hvert steg i produksjonslinjen. På første stasjon blir materialene kappet til riktig dimensjon ved hjelp av en automatisk kapprobot som analyserer materialet med bakgrunn i digitale kapplister for hvert enkelt element. Kapproboten er optimalisert for å kunne kappe materialer med minst mulig svinn.

Deretter blir bindingsverket, som gjerne består av bunnsvill, toppsvill og stendere, montert av personen som bemanner stasjonen. Maskiner hjelper til med justering for å oppnå høy nøyaktighet før stenderverket spikres av en spikermaskin. Når dette er gjort og vindspærre er montert sendes elementet videre til neste stasjon for innsetting av vinduer, dører og utvendig kledning. Dette arbeidet er vanskelig for maskinene å utføre, og gjøres derfor manuelt. Når kledning er montert og vinduer er satt inn og omrammet vippes elementet over på den andre siden for isolering og montering av dampspærre. Deretter settes elementet på høykant mens resten av elementene som utgjør modulen produseres.

Når samtlige elementer er produsert settes de sammen til byggmoduler. Det legges også inn tekniske installasjoner med rørkanal, kabelopplegg og faste innredninger. Før byggmodulene forlater hallen dekkes de med plast som skal beskytte mot fukt og skitt under transport. Så lenge modulene er pakket inn i plast må de skjermes mot direkte sollys da dette kan gi kondens som igjen kan føre til sopp og råte. Det er også viktig å avstive modulene for å unngå skader under transport. Det er ofte transporten som begrenser dimensjonene til modulene. En annen begrensning er takhøyden og porten i produksjonslokalet.

### ***Manuell produksjon:***

Hele produksjonen foregår manuelt. Elementene produseres liggende på store arbeidsbord. Dette er både for å øke produktiviteten og for å ha gode ergonomiske arbeidsstillinger. Arbeiderne bruker kapp- og gjærsager til kapping av materialene.

Hvert arbeidsbord er vanligvis bemannet med en eller to tømrere som utfører bestemte oppgaver. Når samme tømrer utfører den samme oppgaven hele tiden øker standardiseringen av hele produksjonslinjen, noe som gir økt kvalitet og færre feil på sluttproduktet, ifølge teknisk ansvarlig ved fabrikken. Elementene løftes og snus ved hjelp av traverskran. Denne produksjonsmåten gir mer fleksibilitet og produksjonsfrihet sammenlignet med helautomatisk produksjon. Iblant kan det være nødvendig å produsere spesielle elementer, noe som ikke er en hindring ved manuell produksjon.

***Kombinasjon av automatisert og manuell produksjon:***

Arbeidet kan bestå av både automatiserte og manuelle arbeidsoppgaver. Kapping av materialer kan for eksempel foregå automatisk etter digitale kapplister, og det samme gjelder for sammenføring og finjustering av materialer. Håndarbeidet kan bestå av isolering, vindusinnsetting, montering av vinduer og dører, og montering av vind- og dampspærre, gjort av tømrere. Traverskran kan brukes for å løfte og snu elementene.

### **Produksjon av byggmoduler hos Skanska Husfabrikken:**

Hos Skanska Husfabrikken foregår hele produksjonen manuelt. Arbeidet foregår på store arbeidsbord og elementene blir produsert liggende. Produksjonslinjen består av tre stasjoner, og hver stasjon har ansvaret for sin del av produksjonen. Første stasjon har ansvaret for kapping av materialer. Neste stasjons har ansvaret for montering av bindingsverk, innsetting av dører, vinduer, isolering og tettesjikt. I siste stasjon blir det montert innvendig og utvendig kledning, og utsparinger og trekkør gjennomføres også her. Parallelt med at ytterveggelementene blir det også produsert etasjeskillere og takstoler. Deretter settes alle elementene sammen til byggmoduler, og det blir lagt inn tekniske installasjoner, med rørkanaler, kabelopplegg og elektriske vifter. Modulene kan utføres med høy ferdighetsgrad, avhengig av ønske.



*Figur 6: Element og modul produksjon fra befaring hos Skanska Husfabrikken AS (74).*

## **3.8 Transport av moduler**

### **Frakt av moduler i Norge**

Statens Vegvesen har satt begrensning for hvor store moduler som kan fraktes på norske veier. Hensikten med begrensningen er sikkerhet. Det er lov å frakte moduler med bredde inntil 3,25 m uten dispensasjon og 4,20 m med dispensasjon. Det er også satt begrensning til lengden. Den maksimale lengden kan være 14,5 m. Båttransport blir ofte brukt til frakt av store byggmoduler, avhengig av prosjektets plassering (14).

## Frakt av moduler fra utlandet

De fleste norske byggherrer kjøper gjerne moduler fra Øst-Europa. Grunnen til dette er billigere materialer og arbeidskraft. Dette er krevende med tanke på frakt. Ferdige moduler blir første fraktet fra fabrikk til nærmeste kai hvor de lastet ombord på skip og fraktes til Norge. Når modulene kommer til Norge, blir de losses direkte fra skipet over på lastebiler som kjører modulene direkte til byggeplassen (4).

En rapport fra SINTEF viser at bruken av trebaserte moduler har økt kraftig de siste årene. I 2012 importerte Norge trebaserte moduler med verdi i overkant av 4 mrd. kr. I 2002 var dette tallet i overkant av 1,4 mrd. kr. Dette er nesten en tredobling. Norge importerer moduler i ulik grad fra land som Sverige, Estland, Litauen, Latvia og Finland (5).

Utenlandske modulprodusenter har teknisk godkjenning fra SINTEF for sine produkter. Tabellen nedenfor viser hvilke land den største andelen importerte trebaserte moduler og elementer kom fra i 2012 (5):

Land	Importverdi
Sverige	32%
Estland	22%
Litauen	11%
Latvia	7%
Finland	6%

## 3.9 Heising av moduler

Når modulene er fremme ved byggeplassen heises de på plass. Mindre moduler som bare er ment å stå en kortere periode, for eksempel brakker i forbindelse med byggeprosjekter, har gjerne fått montert inn en løfteanordning, enten under eller i siden av bærekonstruksjonen, for å enklere kunne bli flyttet på.

Modulene kan ha spesialtilpassede løftepunkter, eller så kan modulene heises på plass ved hjelp av kran og reimer. Massivtre som materiale er godt egnet for å lage utfresninger til løftepunkter, og er derfor ideelt dersom moduler skal flyttes gjentatte ganger. Løftemetoden må tilpasses modulenes utforming og lasttoleranse (15).

Før arbeidet med å heise modulene på plass begynner må mannskapet gjennomgå grundige sikkerhetsrutiner. Løfteutstyret - kran og reimer - må sjekkes. Løfteruten må planlegges, og det må tas høyde for eventuelle hindringer på veien. Etter heising vil mannskapet lirke modulene på plass de siste centimeterne (16).



*Figur 7: Heising av modul på byggeplass (16)*

## 4. Sammenligning av massivtre og bindingsverk

### 4.1 Konstruksjonsprinsipper

#### 4.1.1 Materialelegenskaper

Massivtre er nokså tungt sammenlignet med konstruksjoner av bindingsverk. Likevel, trematerialer generelt har lav tyngdetetthet sammenlignet med andre materialer som er vanlige å bruke: (17).

Materiale	Tyngdetetthet (kN/m <sup>3</sup> )
Gran/furu (C14-C30)	5,0
Lettklinker betong	6,0 og 7,7
Lettklinker betong, byggplank	9
Armert betong	25
Stål	77-78,5

Langt mer trevirke gjør at massivtre har gode styrkeegenskaper sammenlignet med bindingsverk, noe som potensielt gjør det mulig å bygge høyere og mer robust.

Hvis det brukes massivtre i stedet for betong i store prosjekter reduseres lasten som terrenget utsettes for, slik at det ikke er nødvendig med like dype eller omfattende fundament. Dette kan gjøre grunnarbeid og fundamentering billigere, men det kan også være gunstig i en del storbyer, hvor det ofte er infrastruktur som rør og tunneler under bakken. (18)

Når massivtreelementer er brukt som både dekker og vegger vil trykkraftene fordeles som en kontinuerlig flatelast på dekkene i stedet for punktlaster, noe som bidrar til at det oppstår mindre lokal lastpåkjenning. Dette gjør at trykkspenningene blir mindre sammenlignet med tradisjonell trehusbygging (19). I motsetning til massivtreelementer vil bindingsverkselementer bære all last der det er stendere og det kan oppstå store lokale påkjenninger.



I massivtreelementer består yttersjiktene vanligvis av trevirke med fasthetsklasse C24, mens trevirket som er brukt til de innvendige sjiktene vanligvis er av lavere kvalitet (C14 eller C18). For både 3- og 5-sjikts elementer vil det hovedsakelig være yttersjiktene som er avgjørende for bøyestivheten og styrken til elementene, mens for tykkere elementer vil de innvendige sjiktene ha større innvirkning. Det kan være tilfeller hvor det er ønskelig at fasthetsklassen er høy også for de innvendige sjiktene, for eksempel av brannhensyn (19). Det at det er mulig å kombinere trevirke av ulik kvalitet for å produsere elementene gjør at trevirke som er av for dårlig kvalitet til å brukes til bindingsverkskonstruksjoner likevel kan komme til nytte.

#### **4.1.2 Bæresystemer**

Bæresystemet kan deles inn i tre ulike typer: (19)

- Bærende veggssystem
- Søyle-/bjelkesystem
- En kombinasjon av disse

Valg av bæresystem avhenger av funksjonskrav, grunnforhold, byggetid, estetikk, økonomi og andre hensyn. Bærende veggelementer av massivtre kan brukes som etasjehøye eller fleretasjes elementer. Med denne løsningen stables dekkene rett på veggene, noe som vil gjøre det lettere for lyden å transittere via veggen til etasjen over- eller underliggende etasje. Dette kan være et problem i boligbygging, hvor det stilles strenge krav til lydisolasjon. Søyle-/bjelkesystem gir ofte større fleksibilitet med tanke på planløsning, og forandringer er enklere siden det ikke er noen bærende deler innvendig. (19)

Begrepet "bærende veggssystem" og "bokssystem" brukes om hverandre. Her er tanken at man har mange bokser (moduler bygget opp av massivtreelementer) som er selvbærende og settes sammen til et bygg. Et eksempel på et bygg etter dette prinsippet er Murray Grove i London som er på ni etasjer (20).

De ulike bæresystemene kan kombineres på mange forskjellige måter. For eksempel kan yttervegger være av bindingsverk for å oppfylle energikrav, mens massivtre kan brukes sammen med limtre i bæresystemet. Ved å kombinere de ulike materialene kan en også ta i bruk de ulike egenskapene materialene har på hvert sitt område.

For små bygninger er ikke avstivning en problemstilling, men er langt viktigere for høye bygninger. Massivtreelementer i vegger, dekker og sjakter vil være med på å avstive, mens bindingsverk er langt mindre avstivende. Behov for ekstra avstivning må derfor vurderes i hvert enkelt tilfelle. (19)

Massivtreelementer kan brukes som stabiliserende skiver i konstruksjonen, uten at det er behov for ekstra stabiliserende platelag. Vanligvis føyes elementene sammen med naboelementene ved hjelp av en not- og fjær-løsning. For å øke stivheten og stabiliserende virkning på tvers av fiberretningen kan det monteres avstivere som er tverrgående, i form av en kryssfinerplate, eller en stålplate hvis det er behov for mer kapasitet (21).

#### **4.1.3 Spennvidde for etasjeskillere**

En av fordelene med etasjeskillere av massivtre er at det tillates større spennvidder. Trebjelkelag krever nokså store dimensjoner for å gi like stor spennvidde, noe som kan få konsekvenser for romhøyden (merk at for å oppfylle brann- og lydkrav så må det legges til andre materialer, noe som påvirker bygningsdelens totale tykkelse).

En vanlig dimensjon på 48x148 mm (C24) gir en spennvidde på 2,4 m når c/c 600 mm er senteravstand (22). Til sammenligning tillater 140 mm tykke elementer av massivtre en spennvidde på 4,2 m (23). På den annen side har konstruksjonsvirke den fordel at det er mulig å plassere tekniske installasjoner mellom bjelkene. Det samme gjelder for fagverksbjelker og bjelker av limtre.

#### **4.1.4 Sammenføyning av dampsperre og vindsperre**

Ferdighetsgraden på modulene som leveres til byggeplass vil være forskjellig for bindingsverk og massivtre, på grunn av forskjellig oppbygning.

I en bindingsverkkonstruksjon sitter dampsperran på innsiden, og for at man skal greie å tette skjøtene kan det ikke være montert innvendig kledning over knutepunktene. Dersom det bygges med massivtreelementer gjøres tettingen mellom modulene som regel fra utsiden, og da er det i stedet bygningsdelene på utsiden - påfôret isolasjon, vindsperre, kledning - som hindrer tetting av skjøtene.

Når det gjelder vindsperren kan denne gjennomføres på samme måte både for massivtre- og bindingsverkmoduler. Elementer og moduler har vanligvis en løsning med utstikkende vindsperre eller vindsperreremse som gjør det enkelt å gjøre tett sammenføyingen til naboelementet eller nabomodulen. Hvordan et slikt system fungerer kan for eksempel sees i monteringsanvisningen til Optimera (24).

Skjøtene mellom modulene er en tilbakevendende problemstilling. Hvis modulene leveres fra fabrikk med ferdig montert kledning er det billigste og enkleste ofte å bare sette opp et kledningsbord fremfor skjøten. Eventuelt kan kledningen lages til slik at det er mulig å smette inn kledning i glipen. For at resultatet skal være estetisk tilfredsstillende kan det være nødvendig å gjøre litt arbeid på byggeplassen (25).

#### 4.1.5 Montasje

I konstruksjoner av bindingsverk forankres vanligvis bunnsvillen i etasjeskilleren ved hjelp av skruer eller spikere. Dette kan bli vanskelig å gjennomføre dersom isolasjon og innvendig kledning allerede er montert.

Massivtreelementer kan derimot forankres på mange ulike måter, for eksempel med stag i enden av elementet, skruer eller beslag (26). Man er ikke like avhengig av å treffe nøyaktige punkter (stendere), men i begge tilfeller er god planlegging viktig for at resultatet skal bli bra.



Figur 8: Forankring av stenderverk (92)

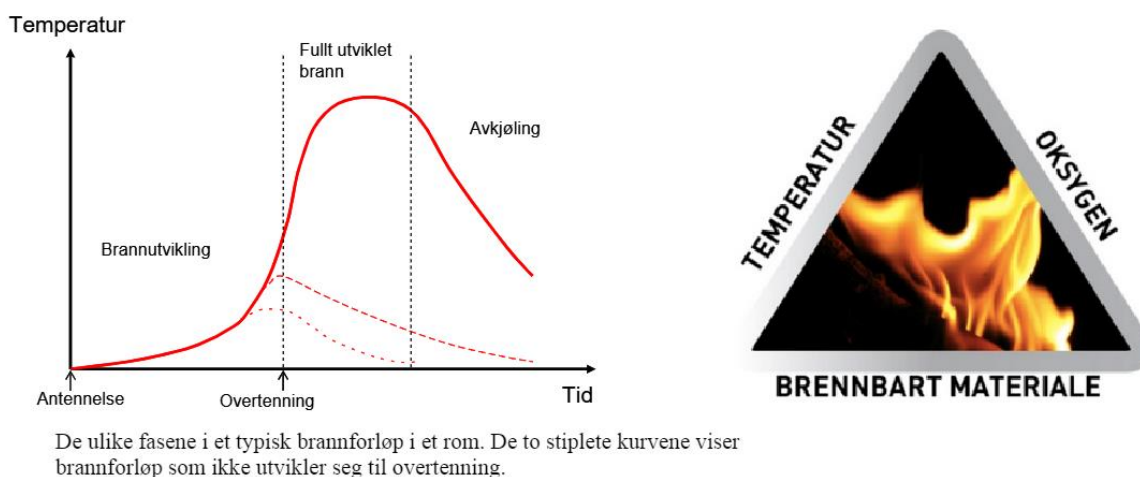


Figur 9: Forankring av et massivtre-veggelement (93)

## 4.2 Brann

### 4.2.1 Teori om brannforløp

Denne delen av rapporten vil dreie seg om brannproblematikk for moduler av bindingsverk og massivtre. Et brannforløp skjer dersom brennbare materialer får tilstrekkelig varme og oksygen. Dette er de tre betingelsene som er nødvendige for at en brann skal oppstå, og dersom en av disse fjernes vil brannen slukkes (27).



Figur 10: De ulike brannfasene (75); Branntrekanten, som viser hva som er nødvendig for en brann (91).

Normalt vil brannforløpet i et rom bestå av 4 faser, som beskrevet under (27).

#### **Antennelsesfasen**

Brannen i et rom vil starte ved at brennbare materialer, gass eller væske blir antent av en ekstern tennekilde. Eksempler på slike tennekilder kan være åpne flammer eller elektriske gnister. Fasen kan være fra noen få minutter til flere timer, og er avhengig av overflatematerialers brennbarhet og tilgang på oksygen (27).

#### **Brannutviklingsfasen**

I første omgang vil brannutviklingen være avhengig av overflatematerialenes brennbarhet. Rommets geometri har liten eller ingen innvirkning. Når temperaturen er høy nok og det er tilstrekkelig med oksygen vil ilden spre seg fra flammestedet langs overflaten av de brennbare materialene i rommet. Temperaturen vil stige og

branngassene får en temperatur på 500 til 600 °C (8). Det er mulig å slukke brannen i første del av antennelses- og brannutviklingsfasen så lenge temperaturen i materialer og rommet ikke er for høy. Når temperaturen nærmer seg overtenning er det for sent å slukke brannen. Rømning fra rommet må derfor skje lenge før overtenning (27).

### ***Overtening og fullt utviklet brann***

Overtening er en kort og rask overgang fra en liten flammebrann til fullt utviklet brann i rommet. På dette tidspunktet er alt av brennbare materialer i rommet involvert, og brannen vil spre seg til andre deler av bygningen gjennom åpninger i rommet. I denne fasen vil selve bygningskonstruksjonen påvirkes og få svekket bæreevne. Ved riktig prosjektering og valg av materialer med gode tekniske brannegenskaper er det mulig å forhindre overtenning (27).

### ***Avkjølingsfasen***

Flammene avtar og brannen dør ut av mangel på brensel eller oksygen. Under brann vil mennesker kunne påvirkes av varmestråling, giftige gasser fra brannrøyken og dårlig sikt på grunn av tett røyk. Det er derfor viktig å tenke på materialvalg under prosjektering, og følgende punkter må være gjennomtenkt (27).

- Varmedavledning
- Røykproduksjon
- Produksjon av giftige gasser
- Flammespredning
- Produksjon av brennende dråper og partikler

#### **4.2.2 Trevirkets oppførsel ved en brann**

Tre er et forutsigbart materiale når det gjelder brann. Brann- og redningstjenesten betrakter det som uten risiko for plutselig kollaps. Under en brann ved temperatur over ca. 200 celsiusgrader vil treverket begynne å dekomponeres til brennbare gasser, tjære og trekull. Høyt fuktinnhold vil redusere forkullingshastigheten til treverket, og dermed redusere bidraget til brannen. Under oppvarming vil vannet fordampe og temperaturen vil øke innover i treverket (8).

Tre forkalles med tilnærmet konstant hastighet, og det forkullede laget er med på å beskytte resten av treverket. Det forkullede laget vil dessuten beholde mye av styrken og stivheten sin. Tre har lav varmeledningsevne, derfor er det liten fare for brannspredning som følge av økt temperatur, sett at konstruksjonen er tett. Trevirket har en forbrenningsvarme på 17,5 MJ/kg og en forbrenningsintensitet på 14 g/m<sup>2</sup>s. Disse faktorene har stor betydning for brannens videre utvikling (8). Brannteknisk klassifisering av byggematerialer er gjort på grunnlag av antennelighet, brennbarhet, røykproduksjon og drypping av materialer under brannpåkjenning. Det er særlig to ting som må ivaretas med tanke på brann i modulbygg:

- Prosjekteringen må være i henhold til gjeldende krav
- Utførelsen og monteringen av modulene må være slik at konstruksjonen er tett, for å unngå brannspredning

#### 4.2.3 Sentrale begreper innen brannteknikk

Tabellen nedenfor viser viktige begreper innen brannteknikk, og er hentet fra (29).

Lastbærende funksjon R	Evnen en konstruksjon eller konstruksjonsdel har til å bære påkjente laster under brann
Sekundært bærende konstruksjon	Beskriver konstruksjon som sikrer bæreevne og stabilitet til deler av byggverk
Integritet E	Evnen en skillende konstruksjonsdel har for å hindre flamme og varmegasser trenger inn gjennom den
Isolasjonsevne I	Evnen en skillende konstruksjonsdel har for å hindre varmetransport fra den ene side til den andre siden
Røyktetthet S	Evnen en konstruksjonsdel har for å hindre gjennomtrenging av røyk og gass
A1, A2, B, C, D, E, F	Materialets antennelighet og brennbarhet og er gradert fra lav til høy
S1, S2, S3	Materialets tilleggsklasser for røykutvikling
d0, d1, d2	Materialets tilleggsklasser for brennende dråper eller partikler

Forbrenningsvarme	Varmemengden som et material frigjør under brann $\frac{MJ}{kg}$
Forbrenningsintensitet	Vekttap av et material per flate enhet og tidsenhet $\frac{g}{m^2s}$

#### 4.2.4 Brannegenskaper: Bindingsverk

Brannspredningen i trehus med tradisjonelt bindingsverk skjer ofte ved at varme branngasser trenger inn gjennom små åpninger og antenner i hulrom hvor det er tørre og lett antannelige materialer. Det kan for eksempel være hulrom i etasjeskillere og takkonstruksjoner. Brannspredningen kan også foregå via takutstikk, svalganger, balkonger og langs utvendige flater (hulrom bak utvendig kledning). For å hindre brannspredningen til andre hus må man enten ha tilstrekkelig avstand mellom husene eller brannskillevegger som oppfyller brannkravet i TEK 17 (8). Branntekniske krav i TEK 17 § 11-4 Bæreevne og stabilitet lyder slik:

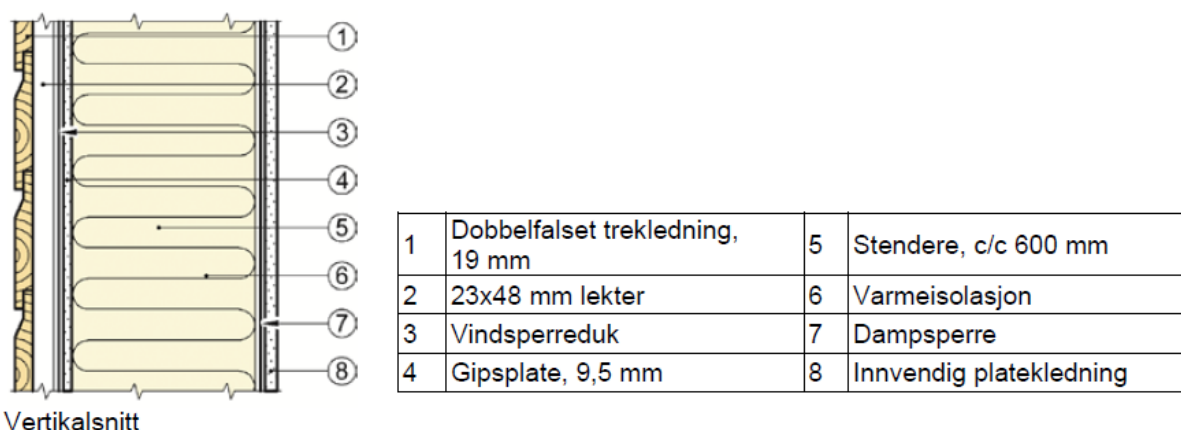
Bygg med inntil fire etasjer skal opprettholde sin stabilitet og bæreevne i den tiden som er nødvendig for at personene som oppholder seg i bygget rekker å rømme eller bli reddet. Dersom bygget har mer enn fire etasjer skal hovedbæresystemet opprettholde stabilitet og bæreevne gjennom et helt brannforløp.

Brannsikkerhet i bygg med inntil fire etasjer preaksepteres med trekonstruksjoner, mens brannsikkerheten i bygninger flere enn fire etasjer må dokumenteres med brannteknisk analyse. Man kan blant annet øke den tilgjengelige rømningstiden og samtidig redusere nødvendig rømningstid gjennom aktive og passive branntiltak (28).

Trehus med moduler som består av tradisjonelt bindingsverk får utfordring med brannklasse når det går fra 4 til 5 etasjer. Disse modulene tilfredsstiller brannkravet til og med brannklasse 2. I denne brannklassen skal konstruksjonen stå i 60 minutter under brannpåkjenninger. Ofte blir disse konstruksjonene kledd med innvendige gipsplater for å oppfylle brannkravet i denne brannklassen. Det er strengere brannteknisk krav når bygningen overstiger 4 etasje som havner under brannklasse 3. Da skal bygningen kunne motstå brannpåkjenninger i 90 minutter, noe vanlige bindingsverkskonstruksjoner ikke evner uten at det gjøres brannhemmende tiltak.

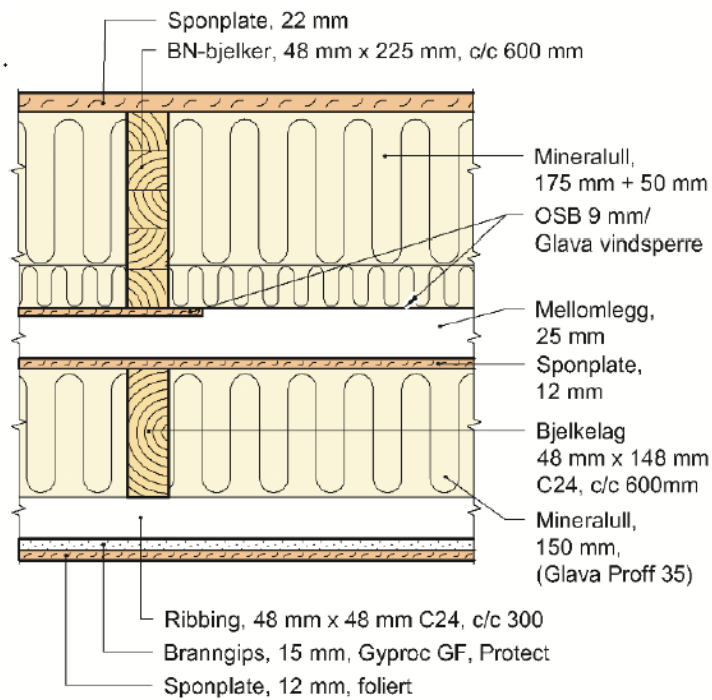
Disse tiltakene kan være brannmaling, brannimpregnering og flere lag med innvendige gipsplater. Dette øker som regel vekten og kostnaden til konstruksjonen (25)

Bindingsverk moduler klarer ikke ofte å bære den ekstra belastningen og får dermed deformasjonen ved modulbygg over 4 etasje. Denne deformasjonen skaper utfordring med å sammenkoble modulene til heissjakter i betong som ikke deformerer seg. Da er massivtre et meget godt alternativ både med tanke på bæring og brann problematikk (25).

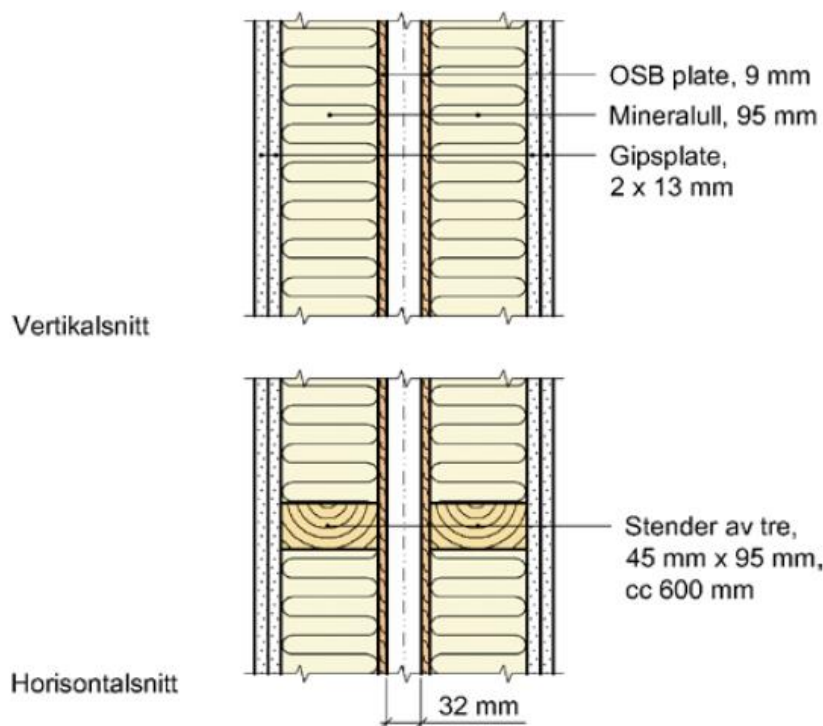


Figur 11: Prinsipiell oppbygging av en standard yttervegg med liggende utvendig kledning. Veggens brannmotstand REI 60, forutsatt en stenderdimensjon på min. 48x198 mm og innvendig kledning med 2x13 mm gipsplater (76).





Figur 12: Oppbygging av etasjeskiller med brannmotstand REI 60 (77)



Figur 13: Oppbygging av en branncellebegrensende innervegg med brannmotstand REI 60 (78)

#### 4.2.5 Brannhemmende tiltak

Det finnes mange ulike brannhemmende tiltak. Noen av de vanligste nevnes i dette delkapittelet. Brannhemmende tiltak skal i hovedsak (30)

- ❖ Forlenge tid før materialer blir antent
- ❖ Beskytte massivtre mot forkulling
- ❖ Øke brannmotstanden i bærekonstruksjoner
- ❖ Øke den tilgjengelige rømningstid og samtidig redusere nødvendig rømningstid

##### ***Gipsplater:***

Generelt har gipsplater lengre varighet ved brann enn trebaserte plater eller trepanel. Grunnen er at gipsplater inneholder vann i forbundet form som krever energi for å fordampe ved branneksporing (8).

##### ***Brannmaling:***

Dette tiltaket reduserer flammespredning på overflaten av konstruksjonen ved å danne et beskyttende lag, og vil også ha en isolerende effekt under brann. Malingsfilmen vil både isolere og hindre treet i å avgi brennende gasser under brannpåkjenningen (31).

##### ***Brannimpregnering:***

Brannimpregnering er et tiltak der treet trykkimpregneres med en brannhemmende væske. Impregneringsmiddelet vil omdanne de brennbare gassene fra treet til ikke-brennbare gasser ved brann. Ved brann vil treoverflaten forkulles og det dannes ikke flammer som dermed hindrer brannspredningen. Det er ikke alt trevirke som lar seg impregnere, og dette er derfor avhengig av tresort. Det er for eksempel vanskeligere å impregnere gran enn furu. Da kan brannmaling være en god løsning (32).

### ***Ulemper ved disse beskyttelsesmetodene:***

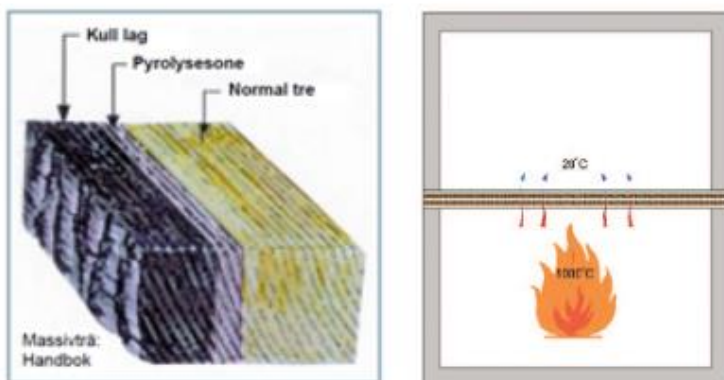
Til tross for at disse beskyttelsesmetodene har mange fordeler finnes det også noen ulemper. Den største ulempen er at kjemikaliene som inngår i prosessene kan føre til korrosjon av festemidler og metaller som blir brukt i fuktige miljøer eller som er direkte i kontakt med regn eller vann (8)

#### **4.2.6 Brannegenskaper: Massivtre**

Massivtre har en kompakt og solid oppbygging hvor krysslagte lameller er limt sammen. Denne unike oppbyggingen gir massivtreet gode brannegenskaper under hele brannforløpet. I motsetning til vanlig trevirke er massivtre tungt antennelig og det må være høy nok temperatur før det blir antent. Når massivtre blir brent forkulles det gradvis fra den eksponerte side og innover i sjiktet. Sjiktene bak det forkullede laget får lite temperaturøkning, og vil bevare fasthets- og stivhetsegenskapene. Massivtre har også gode egenskaper med tanke på isolasjon og integritet forutsatt at overganger og skjøter mellom elementene er tette (33)

På grunn av de overnevnte egenskapene er massivtrekonstruksjoner mer robust enn vanlig trevirke, og vil dermed minimere sammenbrudd og kollaps under brann (33). Det er også viktig å tenke på hvilken limtype man bruker i massivtreelementene, da dette vil ha innvirkning på delaminering av elementene under branneksponeering. Riktig valg av limtype vil forsinke eller hindre delaminering av massivtre under branneksponeering.

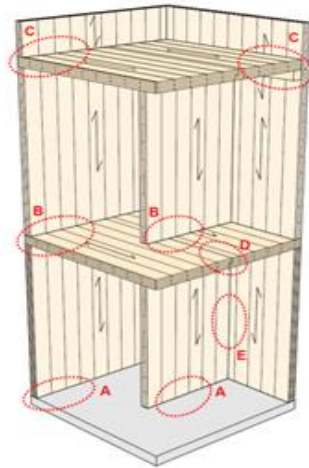
Figuren under viser et massivtreelement som blir påtent fra én side. Etter 90 minutter ved 1000 celsiusgrader brannpåkjenning er det en temperaturøkning på den andre siden av elementet på omtrent 20 celsiusgrader (79).



Figur 14: De ulike lagene i massivtre som blir utsatt for ensidig brann (79)

Massivtre og ubehandlet trevirke har en nominell forkullingshastighet på henholdsvis 0,7 mm/min og 0,8 mm/min. Uavhengig av limtype har massivtre bedre brannmotstand enn vanlig trevirke. I følge Wordmdahl E.D er forkullingshastighet med MUF og PU-lim henholdsvis 0,57 mm/min og 0,78 mm/min. MUF-lim har dermed bedre brannmotstand enn PU-lim. Dette er meget viktig med tanke på stabilitet og bæreevne, da tregere innbrenningshastighet vil gi uendret fasthets- og stivhetsegenskaper under et helt brannforløp. Generelt må limtype være varmebestandig, vannbestandig og fuktbestandig, og dette er avhengig av bruksområder (34).

Det er også viktig å huske på, både ved produksjon og montering, at konstruksjonen må være tett i alle overganger og skjøter. Dersom det oppstår en brann og det finnes utettheter vil varme og gass kunne trenge gjennom. Brannen vil med andre ord spre seg gjennom små hulrom og spalter til andre deler av bygningen eller til nabobygg (34).

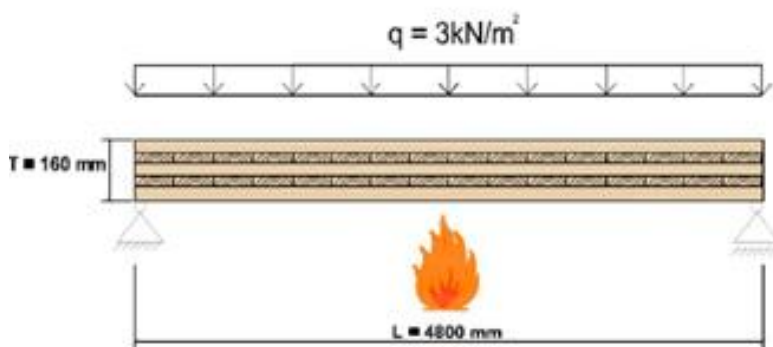


Typiske skjøter i KLT-konstruksjon: A: KLT-vegg til betong; B: KLT-vegg til KLT-tak; C: Tak til parapet; D: Skjøter mellom elementer; E: Sammenføyning i hjørne i vegg.

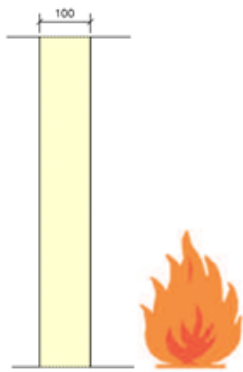
Figur 15: Kritiske detaljer hvor det er særlig viktig med god branntetting [80]

Der moduler i bindingsverk har sine begrensninger, er moduler av massivtre et godt alternativ, siden massivtre har stor lastbærende funksjon og god brannmotstand. Bindingsverkmoduler har sine begrensninger når bygningen overstiger 4 etasjer og havner i brannklasse 3. Konstruksjonen skal kunne stå imot brannpåkjenninger i 90 minutter i denne brannklassen. Siden massivtre har gode fasthets- og stivhets-egenskaper, brukes det også til utkragede vegger. Trefokus har gjort et forsøk med brannekspnering på undersiden etasjeskillere av massivtre, der 160 mm tykke elementer med 5 sjikt har oppnådd funksjonskravet REI 90 (35). Det kommer også frem at det er mulig å oppnå enda høyere funksjonskrav ved å supplere med brannhemmende tiltak på bærende konstruksjoner av massivtre

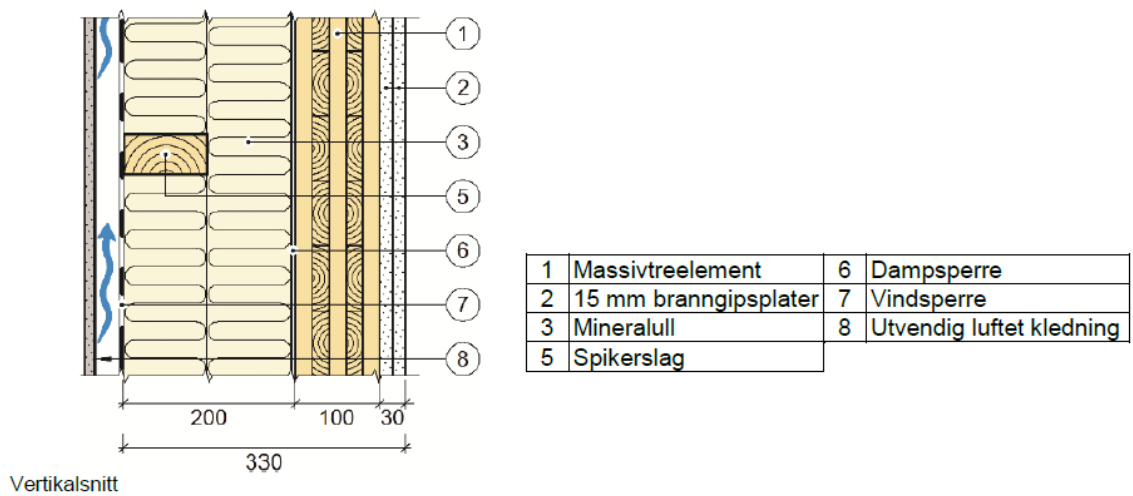
### Massivtreelement m/ Tykkelse 160 mm ok for REI 90



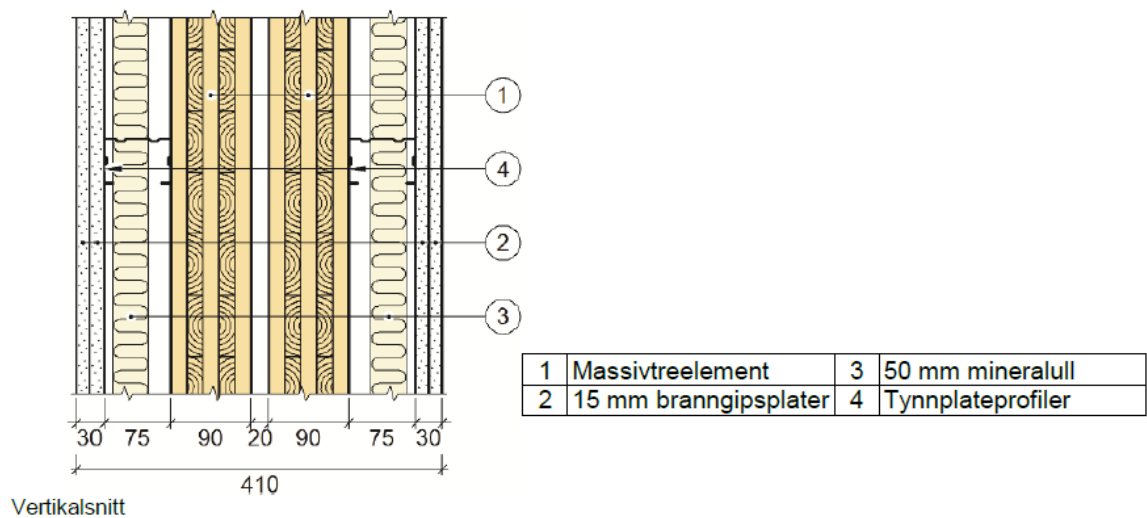
Figur 16: Branntesting av massivtre element. Elementet oppfyller REI 90 (79).



Figur 17: En 100 mm tykk massivtrevegg med 5 sjikt vil oppfylle funksjonskravet REI 60. Dette forutsetter énsidig branneksporing (81).



Figur 18: Yttervegg av massivtre med utenpåliggende mineralull som har brannmotstand REI 90 (82).



Figur 19: Branncellebegrensende innvegg av massivtre med brannmotstand REI 90 (82).

#### **4.2.7 Fuktinnholdets rolle i et brannforløp med massivtre**

Fuktinnholdet i massivtre spiller en sentral rolle ved branneksponeering. Fuktinnholdet er avhengig av årstid, temperatur og den relative fuktigheten i det miljøet bygget er oppført i. Høyt fuktinnhold vil redusere forkullingshastigheten til massivtreet og gir dermed mindre bidrag til brannen. Det kreves energi for at fuktinnholdet skal fordampe under brannpåkjenning (35).

I en massivtremodul består hovedbæresystem hovedsakelig av yttervegger, bærende innervegger og etasjeskillere, og disse må opprettholde sin lastbærende funksjon i en bestemt tid avhengig av brannklassen. Som tidligere nevnt vil massivtre ved en brann bli gradvis forkullet fra eksponert side og innover i sjiktet. Lamellene vil løsne gradvis og sekundær overtenning kan oppstå. Dette tar tid pga. lav innbrenningshastighet, og brannen vil møte et friskt lag etter hvert som lamellene forkulles. Det forkullede laget beskytter massivtreet på innsiden (30).

Dersom alle overflater av massivtreet blir eksponert vil det gi bidrag til den totale energimengden og brannen vil raskt utvikle seg til en fullt utviklet brann. Dette forløpet avhenger blant annet av plassering av massivtreoverflater i forhold til hverandre, de termiske egenskaper til de omsluttende materialene og ventilasjonsforhold (34).

#### **4.2.8 Branndimensjonering av massivtrekonstruksjoner**

Ifølge treteknisk, når massivtrekonstruksjoner skal dimensjoneres med tanke på brannbelastninger, er det nok å regne med den delen av massivtrekonstruksjonen som er involvert i brannforløpet. Dette betyr i praksis at for en massivtrevegg som er 200 mm tykk og som skal opprettholde bæreevne i 60 minutter, så tar man med ca. 50 mm av veggtykkelsen i branndimensjoneringen og ikke hele den potensielle energien som 200 mm massivtre representerer (35).

#### 4.2.9 Massivtre- sammenlignet med mur- og betongkonstruksjoner

Massivtre kan branndimensjoneres for å stå like lenge som de fleste mur- eller betong konstruksjoner (28). Hun understreker at i mange tilfeller kan massivtre erstatte mur og betong uten at det går ut over brannsikkerhet til bygget. Dette forutsetter at massivtrekonstruksjonene har nødvendig overflatebeskyttelse. Moduler av bindingsverk består av mange sammensatte materialer og krever mange arbeidsoperasjoner for å produsere. Den totale brannmotstanden kan svekkes hvis montasje og utførelse ikke er gjort riktig. Massivtremoduler er derimot langt enklere bygget opp og har færre materialsjikt. Dette gir færre arbeidsoppgaver og reduserer risikoen for feil (28, 30).

#### 4.2.10 Vil brannen slukke av seg selv i massivtre?

Det er motstridende meninger i litteraturen om branner i massivtre vil slukke av seg selv eller ikke når alt inventar i rommet er brent opp. Wormdahl E.D begrunner det slik:

*«En del av disse motsetningene skyldes sannsynligvis ulike definisjoner, og er delvis et produkt av ufullstendige eller mangelfulle eksperimentelle data, eller mangelfull rapportering av disse».*

Han understreker videre at branner vil slukke av seg selv dersom: (34)

- Delaminering av lamellene blir forsinket eller forhindret av passivt beskyttende tiltak, som er nevnt tidligere i rapporten
- Ekstern varmefluks er lavere enn 5 til 6 kW/m<sup>2</sup>
- Luftstrømmen over massivtreoverflaten er lavere enn 0,5 m/s ved varmefluks på 6 kW/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.11 Rehabilitering av massivtreelementer etter brannforløp

Det er krevende å rehabilitere massivtreelementer etter en brann, men det finnes heldigvis noen løsninger ifølge Splitkon. Disse avhenger av om massivtreelementene er bærende eller ikke-bærende. Ikke-bærende elementer kan rives ned og bygges opp igjen med identiske elementer, eller bindingsverk dersom dette oppfyller funksjonskravet. Dersom elementene er bærende byr det på større utfordringer. Det er både kostbart og krevende å bytte ut de gamle elementene. Dette vil igjen påvirke byggets bæresystem. Tiltakene for bærende elementer er blant annet avhengig av den



gjenværende integriteten og bæreevne. Den mest effektive og lønnsomme løsningen er å fjerne det forkullede laget og kle det med gips eller andre tilsvarende produkter. Bæreevnen kan blant annet gjenoprettes med tilstrekkelige forsterkninger. Forkullede overflater som er synlige kan ikke rehabiliteres 100%, siden det ikke finnes verktøy som har denne funksjonen. Det er lønnsomheten som avgjør disse tiltakene (36).

## 4.3 Lyd

### 4.3.1 Teori og sentrale begreper

Lyd er hørbare svingninger som brer seg som bølger gjennom luft, væske eller faste stoff. Øret oppfatter lyden ved at trommehinnen blir satt i bevegelse. Lyd forplanter seg på forskjellige måter fra et rom til et annet. Alle disse definisjonene er hentet fra Hefte nr. 36 fra Trefokus (37).

*Luftlyd* er lydbølger som spres ut i rommet fra en lydkilde, for eksempel stemmer, høyttalere eller maskinelt utstyr. Når lydbølgene treffer en bygningsdel vil de sette denne i svingninger, og noe av den innfallende lyden vil stråle ut på baksiden. Differansen mellom effekten på baksiden og fremsiden kalles lydreduksjonstallet,  $R$ , og måles i desibel (dB).

*Trinnlyd* er svingninger som oppstår i etasjeskillere pga. for eksempel gangtrafikk, og som utstråles som lyd. Ved trinnlyd målinger er man ikke ute etter noen differanse. I stedet er man ute etter det faktiske lydtrykknivået i mottaker rommet. Denne verdien bør være så lav som mulig, og har betegnelsen  $L$  (dB).

Luftlydisolasjon og trinnlydisolasjon kan måles både i laboratoriet og som feltmålte verdier. Betegnelsene er da henholdsvis  $R_w$  og  $R'_{w}$ , og  $L_w$  og  $L'_{n,w}$

Det skilles mellom *direkte transmisjon*, som er når lyden går gjennom en bygningsdel, og *flanketransmisjon*, som er lydoverføringer via tilstøtende bygningsdeler. Noen eksempler på flanketransmisjon er lyd som går gjennom utettheter, mekaniske sammenkoblinger, kanaler, og over himlingen.

### 4.3.2 Lydklasser

Krav til lydisolasjon fremgår av NS 8175:2019. Det er vanlig å skille mellom luftlyd- og trinnlydisolasjon. Det er også verdier for tekniske installasjoner, romakustikk mm. som man må forholde seg til.

Det finnes fire forskjellige lydklasser: A, B, C, D, der A er den høyeste. C er den laveste lydklassen som tillates i nybygg. Tabellene under gjelder for boliger, og viser verdier for trinnlyd- og luftlydisolasjon i de forskjellige lydklassene. For andre typer bygninger - for eksempel skoler og kontorer - er kravene ikke like strenge, noe som

gjør at det kan være tilstrekkelig med enklere konstruksjoner. I noen tilfeller ønsker kanskje byggherre seg enda bedre lydisolering, for å oppnå bedre komfort.

Verdiene i tabellene under er hentet fra NS 8175:2019 (99).

<b>Lydklasser for boliger – Luftlydisolasjon:</b>				
	Målestørrelse	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Mellom boenheter	$R'_w + C_{50-5000} \geq$	62	58	54
Mellom boenhet og fellesareal/ kommunikasjonsvei	$R'_w \geq$	62	58	54
Mellom rom i boenhet og svalgang/ utvendig trapp	$R'_w \geq$	58	54	50
Mellom rom i boenhet og svalgang/ utvendig trapp med vindu direkte mot disse	$R'_w \geq$	52	48	44
Mellom en boenhet og nærings- og servicevirksomhet, garasje- anlegg ol.	$R'_w + C_{50-5000} \geq$	68	64	-
	$R'_w \geq$	-	-	60
Mellom oppholdsrom uten dørforbindelse i samme boenhet		48	44	-
<b>Lydklasser for boliger – Feltmålt veid trinnlydnivå:</b>				
	Målestørrelse	Klasse A	Klasse B	Klasse C
Mellom boenheter	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq$	46	50	54
I en boenhet fra fellesareal				
I en boenhet fra nærings- og servicevirksomhet, garasje- anlegg, felles takterrasse ol.	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq$	40	44	48
I en boenhet fra toalett, bad, bod ol. samt fra en annen boenhets balkong	$L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq$	50	54	
	$L'_{n,w} \leq$			58
Mellom oppholdsrom uten direkte dørforbindelse i samme boenhet	$L'_{n,w} \leq$	54	58	-

### 4.3.3 Lydproblematikk i trebygninger

Tre er et lett materiale og blir derfor enklere satt i svingninger enn for eksempel betong. Spesielt er trinnlyd i fleretasjes bygninger et problem. Det må brukes andre materialer i tillegg til tre for å oppfylle kravene i TEK17. Valg av bæresystem og riktig utforming av knutepunkter er viktig for å begrense flanketransmisjon (38).

Flanketransmisjon kan ha stor betydning, siden trebygninger består av mange sjikt og hulrom hvor lyden kan forplante seg. Alle konstruksjoner må derfor utformes med tanke på flanketransmisjon (8). Skjønt, dette er et mindre problem for massivtre, siden det er færre hulrom.

Hulrom og utette fuger vil også gi luftlekkasjer og dermed svekket lydisolasjon. Noen typiske problemområder er utettheter i overganger mellom bygningsdeler og tekniske installasjoner. Sistnevnte kan gi luftlekkasjer og dermed svekket lydisolasjon. Hulrom

bør også unngås av hensyn til brann. Prosjekteringsfasen er viktig for å unngå plagsomt støy. Likeverdige rom bør legges inntil hverandre, og rom der det foregår støyfull aktivitet bør ikke legges i tilknytning til støyømfintlige rom (8).

#### **4.3.4 Typiske problemområder og løsninger**

Lydoverføring via etasjeskillere og innervegger er to av hovedproblemene i flermannsboliger av tre. Lette etasjeskillere av tre har lett for å bli satt i svingning, derfor er det ofte nødvendig med andre materialer enn bare tre for å sikre god nok lydisolering (38).

Utformingen av modulene vil være avgjørende, ikke bare for lydisoleringen, men fordi dette vil få konsekvenser også for plassering og montering av tekniske installasjoner. Det må også naturligvis tas hensyn til brann- og fuktproblematikk mm.

Moduler kan utformes som hele «bokser», med både gulv, vegger og himling ferdig montert. Det er dette systemet det finske selskapet Stora Enso baserer seg på i sitt byggesystem for moduler av massivtre (39). Himlingen blir frittstående, da modulen som plasseres over denne har sin egen gulvkonstruksjon.

Alternativt kan moduler leveres uten ferdig himling. Dette gjør det lettere å montere tekniske installasjoner, og det er mindre fare for å stenge inne byggfukt, da fukten får anledning til å tørke i ettertid. Det blir også større valgfrihet underveis i prosjektet, og man låser seg ikke til én metode. Ulike metoder for lydisolering er beskrevet grundig under neste punkt.

### 4.3.5 Etasjeskillere

Etasjeskillere kan lydisoleres på oversiden eller undersiden. Ett eller flere av disse løsningene kan være aktuelle: (38)

#### ***Overgulv med stiv isolasjon***

Gulvet bygges opp med trykkfast isolasjon som er stiv nok til at det ikke oppstår deformasjoner.

#### ***Overgulv med tilfarere***

Dette vil øke gulvkonstruksjonens statiske og dynamiske stivhet. Lydabsorberende materialer plasseres i tomrommet mellom tilfarerne.

#### ***Overgulv med ekstra masse***

En tyngre konstruksjon vil bedre trinnlydisolasjonen. Sand, pukk, betong eller andre tunge materialer kan tilføre noe vekt til etasjeskilleren.

Det bør tilstrebes at overgulvet ikke er i kontakt med veggene, dette for å unngå flanketransmisjon, og knirking og oppsprekking pga. bevegelser.

#### ***Himling montert i faste lekter***

Må som regel benyttes sammen med andre tiltak for å oppfylle lydkravene.

#### ***Himling montert i lydbøyler***

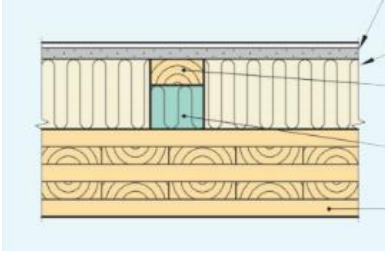
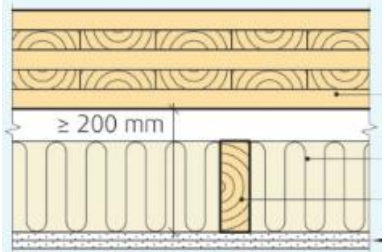
Lydbøyler eller akustikkprofiler vil dempe lydoverføringen gjennom lektene.

#### ***Frittstående himling***

Himlingen er en separat konstruksjon som ikke er i kontakt med massivtredekket.

Frittstående himling er en god løsning når det bygges med moduler. Når modulene stables etter «eskeprinsippet» vil den øverste modulen ha sitt eget dekke, og alt som gjenstår er å montere en separat himling i den nederste modulen.

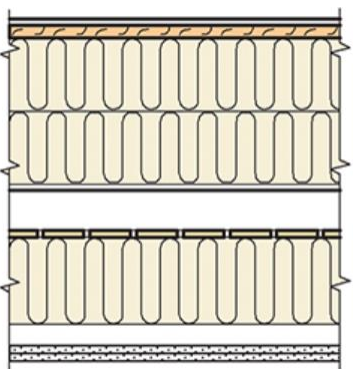
Nedenfor sammenlignes forskjellige etasjeskillere av henholdsvis bjelkelag og massivtre. Det tas utgangspunkt i lydkravene for boliger når de ulike verdiene kommenteres.

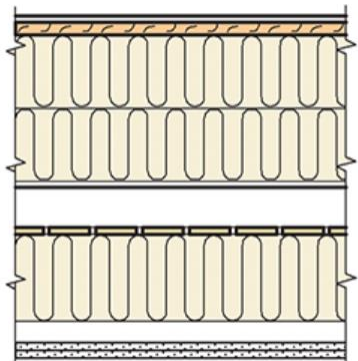
Eks.	Illustrasjon	Beskrivelse	Verdier (dB)
1		<p>Sementplate, 20 mm + belegg</p> <p>Mineralull</p> <p>Tilfarer, 48x98 mm c/c 600 mm, over steinull støpeplate eller tilsvarende, 80 mm</p> <p>Massivtre 160 mm</p>	<p><u>Luftlydisolasjon:</u></p> <p><math>R_w = 55-56</math> <math>C_{50-5000} = -1</math></p> <p><u>Trinnlydisolasjon:</u></p> <p><math>L_{n,w} = 52-48</math> <math>C_{1,50-2500} = +5 \text{ til } +8</math></p>
2		<p>Massivtre 160 mm</p> <p>Isolert hulrom 200 mm</p> <p>Dobbel lydstråleminskende kledning i himling</p>	<p><u>Luftlydisolasjon:</u></p> <p><math>R_w = 65-68</math> <math>C_{50-5000} = -2 \text{ til } -5</math></p> <p><u>Trinnlydisolasjon:</u></p> <p><math>L_{n,w} = 55-52</math> <math>C_{1,50-2500} = +1 \text{ til } +3</math></p>

Tabellen over viser to eksempler på lydisolering av etasjeskillere av massivtre (94). Disse verdiene er laboratoriemålte, og på grunn av flanketransmisjon vil lydisolasjonen antakeligvis være noe dårligere i virkeligheten. Derfor er disse verdiene ikke direkte sammenlignbare med verdiene for bjelkelag/bindingsverk, som er feltmålte.

Eksempel 1 har et gulv som er oppbygget med til dels tunge og vibrasjonsdempende materialer. Verdiene for luftlydisolasjon er i grenseland, mens verdiene som er for trinnlydisolasjon er for dårlige til å oppfylle kravene i lydklasse C (for boliger).

Eksempel 2 har en frittstående himling, og her er verdiene for luftlydisolasjon svært gode. Verdiene er også litt bedre for trinnlydisolasjon enn i eksempel 1. Det er derfor nærliggende å tro at en kombinasjon av de to eksemplene vil oppfylle alle krav i lydklasse C.

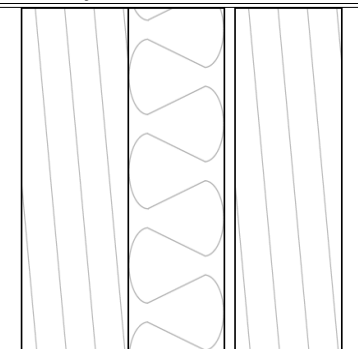
Eks.	Illustrasjon	Beskrivelse	Verdier (dB)
3		<p>Høyde fra underkant av gulvbord til overkant av himling = 400-450 mm</p> <p>Ett platelag i gulv, 22 mm sponplate eller tilsvarende</p>	<p><u>Luftlydisolasjon:</u></p> <p><math>R'_w + C_{50-5000} = 55-59</math></p> <p><u>Trinnlydisolasjon:</u></p> <p><math>L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 67-61</math></p>

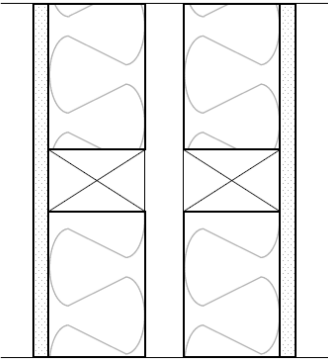
4		<p>Høyde fra underkant av gulvbord til overkant av himling &gt; 450 mm</p> <p>To platelag i gulv hvorav ett lag med 22 mm sponplate eller tilsvarende + 36 mm porøs trefiberplate. Øvre bjelkelag på dimensjonerte klosser av elastisk polyuretan</p>	<p><u>Luftlydisolasjon:</u></p> $R'_w + C_{50-5000}$ = 55-64 <p><u>Trinnlydisolasjon:</u></p> $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$ = 54-53
---	---	---	--

Tabellen over viser to eksempler på lydisolering av bjelkelag (95). Begge eksemplene oppfyller kravene til luftlydisolasjon. Eksempel 3 oppfyller ikke kravene til trinnlydisolasjon, men eksempel 4 viser at det er mulig å oppfylle også disse når det velges en kombinasjon av frittstående himling og oppbygging av gulvet på oversiden.

De fire eksemplene viser at det er fullt mulig å oppfylle lydklasse C når det bygges med trematerialer, men at det er langt vanskeligere å oppfylle klasse A eller B både med tanke på luftlydisolasjon og trinnlydisolasjon.

#### 4.3.6 Innervegger

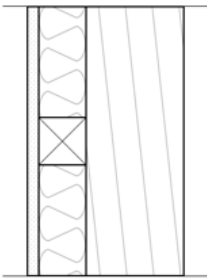
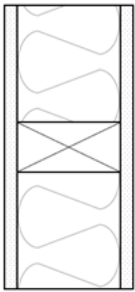
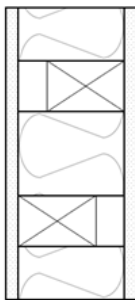
Eks.	Illustrasjon	Beskrivelse	Verdier (dB)
1		<p>2 × 65 mm massivtrevanger med 100 mm avstand og 90 mm mineralull</p> <p>Veggtykkelse = 230 mm</p>	<p>Laboratoriemålt verdi, <math>R_w = 55</math></p> <p>Forventet verdi i ferdig bygning, <math>R'_w = 52</math></p> <p>Omgjøringstall for spektrum <math>C_{50-5000} = -3</math></p>
		<p>2 × 100 mm massivtrevanger med 100 mm avstand og 90 mm mineralull</p> <p>Veggtykkelse = 310 mm</p>	<p>Laboratoriemålt verdi, <math>R_w = 58</math></p> <p>Forventet verdi i ferdig bygning, <math>R'_w = 55</math></p> <p>Omgjøringstall for spektrum <math>C_{50-5000} = -3</math></p>
2		<p><u>Tosidig enkelt gipslag</u> 13 mm</p> <p>Mineralulltykkelse 150 mm (Hulrom 180 mm)</p> <p>Veggtykkelse = 205 mm</p>	<p>Laboratoriemålt verdi, <math>R_w = 56</math></p> <p>Forventet verdi i ferdig bygning, <math>R'_w = 52</math></p>

		Omgjøringstall for spektrum $C_{50-5000} = -6$
	<p>Tosidig dobbelt gipslag 13 mm  Mineralulltykkelse 150 mm  (Hulrom 180 mm)</p> <p>Veggtykkelse = 230 mm</p>	<p>Laboratoriemålt verdi,  <math>R_w = 59</math></p> <p>Forventet verdi i ferdig bygning, <math>R'_w = 55</math></p> <p>Omgjøringstall for spektrum <math>C_{50-5000} = -6</math></p>

Tabellen over viser to eksempler på doble innervegger (95-96). Bindingsverk og massivtre fremstår her som nokså likeverdige med tanke på lydisolasjon. Eksemplene viser at de to veggene som er 230 mm tykke har like gode verdier for luftlydisolasjon når omgjøringstallet inngår i regnestykket.

Treteknisk har også en oversikt over lydskillevegger av massivtre, der eksempel nr. 1 inngår med lavere omgjøringstall (40). Det er derfor sannsynlig at begge disse to løsningene vil kunne gi god nok komfort også mellom boenheter. For ytterligere luftlydisolasjon kan hulrommet mellom elementene økes (for eksempel til 150 mm), eller utsiden av elementene kan kles med gips.



Eks.	Illustrasjon	Beskrivelse	Verdier (dB)
3		100 mm KL-tre, 48 mm fast lekt med mineralull og 13 mm gipsplate  Veggtykkelse 160 mm	Laboratiemålt verdi, $R_w = 45$  Forventet verdi i ferdig bygning, $R'_w = 42$  Omgjøringstall for spektrum $C_{50-5000} = -4$
4		Tosidig enkelt gipslag 13 mm Hulromsdybde 98 mm  Veggtykkelse 125 mm	Laboratiemålt verdi, $R_w = 42-45$  Forventet verdi i ferdig bygning, $R'_w = 39-42$  Omgjøringstall for spektrum $C_{50-5000} = -5$
5		Tosidig enkelt gipslag 13 mm Hulromsdybde 100 mm  Veggtykkelse 125 mm	Laboratiemålt verdi, $R_w = 52-56$  Forventet verdi i ferdig bygning, $R'_w = 50-54$  Omgjøringstall for spektrum $C_{50-5000} = -5$

Eksemplene i figuren over (95-96) viser igjen at forskjellene i luftlydisolasjon ikke er så store mellom vegger av massivtre og bindingsverk. Likevel, bindingsverk har den fordelen at det er mulig å benytte seg av en løsning som kalles for forskjøvet stenderverk, nr. 5. Fordelen med dette er at det er mindre kontakt mellom stender og platekledning, slik at svingningene reduseres. Dette er et tiltak som gir en stor forbedring sammenlignet med en ordinær innervegg av samme tykkelse, nr. 4.

Etter å ha sett på disse fem eksemplene for innervegger ser man at det kan være vanskelig å tilfredsstillte strenge krav til lydisolasjon, spesielt med tanke på boliger, men at det fullt lar seg gjøre ved å benytte ulike materialer og ev. øke tykkelsen.

### 4.3.7 Knutepunkter

#### ***Vertikal flanketransmisjon***

God utforming av knutepunktene vil minske flanketransmisjonen. Forbindelsene mellom bygningsdelene bør i mest mulig grad gjøres elastiske for å unngå at lyden forplanter seg fra et rom til et annet. Dette kan for eksempel gjøres ved å legge inn vibrasjonsdempende klosser eller lister i knutepunktene (38).

Det har tidligere ikke alltid vært like vanlig å bruke vibrasjonsdempende produkter. Først i senere tid, med økt krav til komfort, har etterspørselen økt, og derfor blir det stadig flere ulike produkter å velge mellom. En rapport fra Treteknisk senter basert på bygging med massivtre har sammenlignet forskjellige produkter basert på følgende egenskaper: (20)

- Hvor enkelt produktet er å montere
- Levetid
- Produktets referanser
- Produktets tekniske dokumentasjon
- Prisen
- Tilgjengelighet og support

Aktuelle produkter er for eksempel SILENCIO®36 fra Hunton med høy trykkstivhet, eller elastiske elementer fra Vibratec Norway. Det aller enkleste er å bruke en enkel kryssfinerkloss som punktopplagring. Dette vil gi gode lydegenskaper sammenlignet med at veggen står direkte på etasjeskilleren.

#### ***Horisontal flanketransmisjon***

Flanketransmisjonen kan brytes i horisontal retning ved at det legges inn et skille i konstruksjonen. Dette gjøres tradisjonelt mellom leiligheter ved at det bygges en dobbel veggkonstruksjon med klaring mellom stenderne. Det samme prinsippet er naturlig å bruke også for modulbygg, både av bindingsverk og massivtre [34, hefte 5].

Pga. vridning og unøyaktig montering anbefales det at klaringen mellom stenderne er minimum 20 mm. (41) Hulrom bør tettes med isolasjon av hensyn til brann.

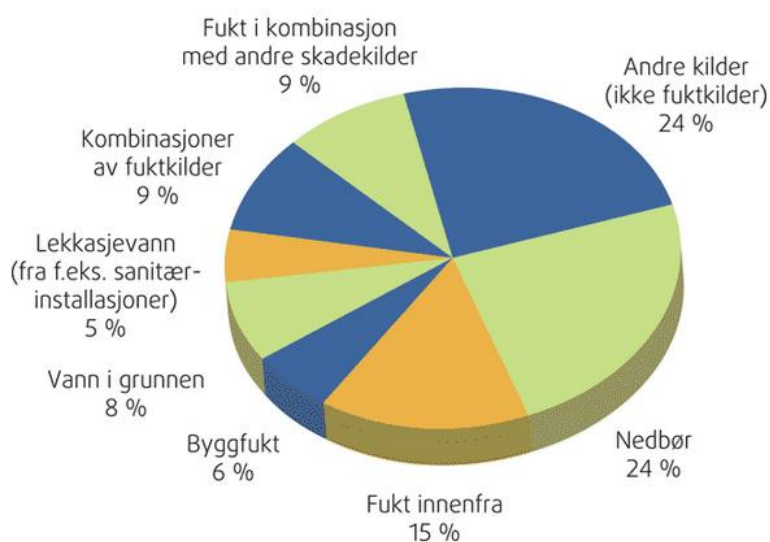
## 4.4 Bygningsfysikk del 1: Fukt og lufttetthet

### 4.4.1 Generelt om fukt

Denne delen av rapporten vil ta for seg de problemene et utett bygg kan føre til. Et tett bygg vil gi langt større grad av komfort og et lavere energibehov. Det vil også minske risikoen for fuktproblemer som kan få konsekvenser for både byggets levetid og brukernes helse. Luftlekkasjer fra grunnen kan gjøre slik at fuktighet blir trukket opp og inn i konstruksjonen, samt gi økt tilførsel av radongass (42).

Det norske klimaet er svært variert, og årsvariasjonene er også store. Høye fjell og dype daler gjør at forskjeller i temperatur, nedbør og vind kan være store selv over små avstander. Det er også forskjeller i klimaet ved kysten og i innlandet. I fremtiden vil klimaet endre seg. Mange steder vil det bli hyppigere intens nedbør, og høyere temperaturer som fører til at det vil bli mindre snø i hele landet. Det vil også bli økt risiko for ekstremvær, deriblant sterk vind, høye bølger og stormflo (44).

Når det bygges er det viktig å ha fokus på fuktproblematikk. Måten det bygges på må også tilpasses de klimautfordringene man kommer til å se i fremtiden. En oversikt fra SINTEF Byggforsk viser at 76 % av alle skader på bygninger skjer som følge av fukt. 24 % av alle skader skyldes nedbør, mens 15 % skyldes fukt innenfra (43).



Figur 20: Fordeling av skadekilder i forbindelse med fukt (43).

#### **4.4.2 Vanlige fuktkilder**

Bygninger kan utsettes for fuktpåkjenninger fra mange ulike fuktkilder. De kildene som nevnes her er hentet fra boken *Fukt i bygninger* (45).

##### *Fuktig inneluft*

Vanndamp i inneluften som trenger ut i konstruksjonen ved diffusjon eller lekkasjer som følge av utettheter. Det er viktig at ikke denne fukttransporten fører til kondens eller luftfuktighet over lengre tid i konstruksjonen.

##### *Fuktig uteluft*

Luftens relative fuktighet (RF) har mye å si for hvor raskt et eventuelt fuktoverskudd i materialene tørker ut. Den relative luftfuktigheten varierer fra sted til sted og gjennom året, og er derfor viktig å ta hensyn til under prosjekteringen.

##### *Nedbør*

Nedbør i form av vertikalt regn, slagregn, snødrev og smeltevann som påvirker tak, terrasser og yttervegger.

##### *Vannlekkasjer*

Utsiktet vanntilførsel, for eksempel i form av nedbør som siver inn i konstruksjonen på grunn av skader på bygningen eller feil i utforming. Lekkasjer kan også skje på grunn av tette nedløpsrør, tett drencsystem,

##### *Fukt fra grunnen*

Bygningsdeler mot grunnen kan bli tilført fukt enten i form av vanndamp eller i form av fritt vann. Dette skjer ved hjelp av vanntrykk, kapillært oppsug eller diffusjon. Vann i form av smeltevann og nedbør på terrengoverflaten kan også utgjøre et problem.

##### *Byggfukt*

Fukt som følge av byggeprosessen. Bygningsdelene vil avgi vann for å komme i fuktlikevekt med omgivelsene.

#### **4.4.3 Konsekvenser som følge av fuktighet**

Materialer som utsettes for fukt kan oppleve enten reversibel ytelses nedsettelse eller irreversibel nedbrytning. Fuktskader kan få konsekvenser for bygningsfunksjoner og

føre til helseproblemer. Nedbrytningsprosessene kan deles inn i tre hovedtyper med hver sine nedbrytningsmekanismer. Her listes konsekvenser for materialer generelt, ikke bare for trematerialer, da trebygninger som regel inneholder andre materialtyper. Disse forklaringene er hentet fra boken *Fukt i bygninger* (45).

#### *Biologiske prosesser*

Muggvekst: Kan gi helseproblemer og synlige endringer i materialene.

Råteangrep på trematerialer: Kan føre til konstruksjons sammenbrudd.

#### *Kjemiske prosesser*

Korrosjon i luften som rammer metall: Kan føre til konstruksjons sammenbrudd og synlige endringer på materialene.

Korrosjon i betong som rammer metall: Kan føre til konstruksjons sammenbrudd og synlige endringer på materialene.

Emisjon av flyktige gasser: Kan gi helseproblemer.

#### *Fysiske/mekaniske endringer*

Frostsprenning: Konstruksjon sammenbrudd og gi synlige endringer i materialene.

Svelling og krymping: Kan gi synlige endringer i materialene.

Fuktinduserte spenninger: Kan gi synlige endringer i overflatematerialene.

### **4.4.4 Svinn og svell**

Tre er et hygroskopisk materiale som utvider seg ved økende luftfuktighet og krymper ved minkende luftfuktighet. Det er viktig at disse dimensjonsendringene ikke blir hindret, for svinn- og svellingskrefter kan bli svært store og føre til omfattende skader. Svinn er også en av hovedårsakene til at det oppstår riss- og sprekkdannelser i bygninger, siden materialene som brukes ofte er fuktigere under byggeprosessen enn etter (45).

Bindingsverk er en tradisjonell måte å bygge trehus på i Norge, og oppleves stort sett som ukomplisert. Når det gjelder massivtre er bildet litt annerledes. Forandringer i fuktinnhold gjør at trevirket øker eller avtar i volum. For bindingsverk er ikke dette noe stort problem, men på grunn av den større andelen trevirke i massivtre kan dette by på utfordringer. Større andel trevirke betyr at massivtre bruker lenger tid på å tørke ut dersom det først har trekt til seg fuktighet. Variasjoner i fuktinnhold fører til svelling og svinn, som kan resultere i sprekkdannelser (46).

Slike problemer kan forhindres ved at massivtreelementene fraktes, oppbevares og monteres under kontrollerte fukt- og temperaturforhold. Fuktinnhold varierer fra produsent til produsent, men i en laboratorietest gjort av SINTEF ble det rapportert om et fuktinnhold mellom ca. 12 og 14 vektprosent ved levering. I et ferdig bygg vil elementene ha et fuktinnhold på mellom ca. 6 og 10 % (47).

Ofte bygges det med en kombinasjon av forskjellige materialer. Da må det tas høyde for at forskjellige materialtyper reagerer ulikt på fukt, noe som kan føre til skjevheter i konstruksjonen etter uttørking.

Dimensjonsendringene til et massivtreelement er beregningsmessig antatt å være omtrent 0,010 % i elementets lengderetning og 0,025 % i elementets tverretning, pr. 1 % fuktighetsendring (19).

#### **4.4.5 Mugg og råte**

Råtesopp har optimale vekstbetingelser når vanninnholdet er ca. 30-50 vektprosent, men angrep kan starte når fuktigheten er så lav som 20 vektprosent. Når et angrep først har startet kan veksten fortsette ved mye lavere fuktighet - ekte hussopp kan for eksempel opprettholde veksten når fuktigheten er så lav som 16 vektprosent. For de fleste typer råtesopp må temperaturen være mer enn 0-5 °C, og lavere enn 30-45 °C. Råtesopp kan ødelegge trevirkets mekaniske egenskaper fullstendig (45).

Muggvekst på overflater skjer typisk når RF er mellom 80 og 100 %, men også så lavt som 70-75 % RF, avhengig av materialet. De fleste muggsoppene vokser når temperaturen er mellom 5 og 45 °C, mens 20-35 °C gir optimale vekstbetingelser. Mugg angriper overflaten av materialet, og fører til misfarging, dårlig lukt, dårlig inn klima og helseproblemer (45).

Det er utført tester der bindingsverks- og massivtreelementer er nedsenket i vann i en gitt tid, for deretter å tørkes. Disse testene viser at massivtre har langt større motstandsdyktighet mot muggvekst. Samtidig blir det uttrykt større bekymring med tanke på fuktskader i konstruksjoner av bindingsverk, da det er større hulrom og en eventuell undersøkelse av fuktighet innebærer å punktere dampsperran (48).

Fuktproblemer og tilstedeværelse av insekter og edderkoppdyr er ofte tett knyttet sammen. Kartlegging av art, antall og utbredelse kan gi innsikt i hvilken type skade det

dreier seg om samt omfanget. Skjeggkre finnes som regel i nyere innvendige konstruksjoner når temperaturen er 20-26 °C og RF > 55 %. Generelle råd for å unngå skadedyr er å unngå oppfukning av bygget og byggematerialene i løpet av byggetiden, og at emballasje og materialrester fjernes så raskt som mulig (49).

#### 4.4.6 Lufttetthet i massivtrekonstruksjoner

Vanndampmotstanden for et materiale angis i  $S_d$ -verdi. ( $S_d$  står for ekvivalent luftlagstykkelse). Dampsperre- og vindsperre er de vanligste typene sperresjikt. I tillegg finnes det noe som heter dampbrems, som har en  $S_d$ -verdi som ligger mellom disse to:

##### **Norge (anbefalinger fra Byggforsk):**

- Dampsperre:  $S_d > 10$  m
- Vindsperre:  $S_d < 0,5$  m (så lav som mulig)
- Forholdstall:  $\frac{S_d(\text{varmside})}{S_d(\text{kald side})} > 10$  (50)

I motsetning til bindingsverk vil massivtre, dersom montert på riktig vis, gi en lufttett konstruksjon i seg selv. Den generelle anbefalingen er å bruke dampsperre mellom elementene og varmeisolasjonen. Det er likevel noe uenighet rundt viktigheten av dette, siden massivtre har gode egenskaper med tanke på fukt- og lufttetthet.

Massivtreelementene har god nok vanndampmotstand til å forhindre oppfukning av konstruksjonen. Samtidig viser målinger at det er stor luftgjennomgang i endene av og skjøtene mellom elementene. De største lekkasjene er i overgangene mellom gulvelementer og veggelementer, og i skjøtene mellom selve elementene. Dette vil naturligvis variere etter hvilke typer utforminger og skjøter som benyttes (47).

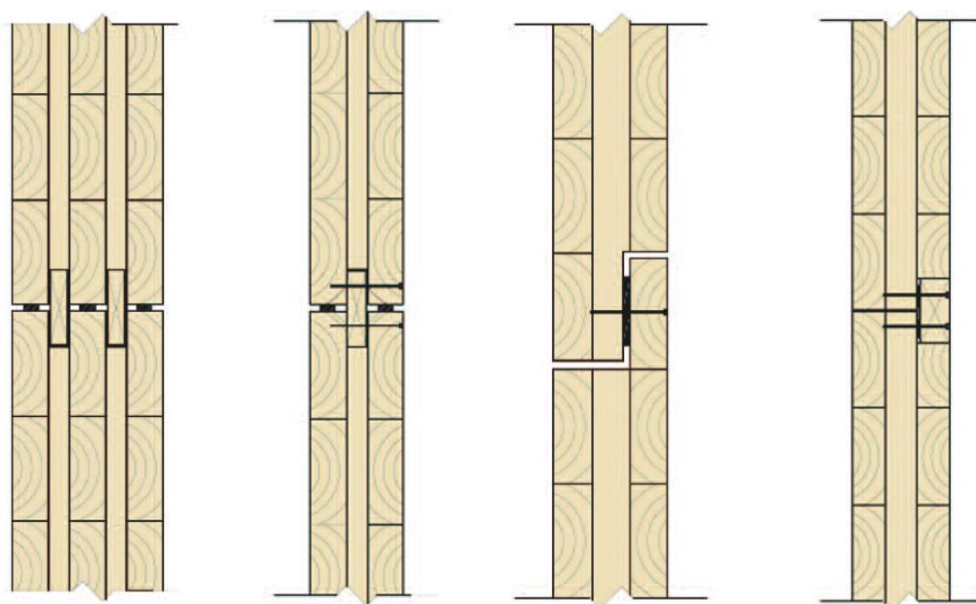
Forskning viser at massivtre er tilstrekkelig lufttett når elementene består av 3 eller flere sjikt (51). Samtidig sier Treteknisk at elementene bør ha en tykkelse på 80 mm eller mer, og at det må gjøres en faglig vurdering i hvert byggeprosjekt om det er nødvendig med dampsperre eller ikke (52).

Rapporten fra SINTEF bekrefter likevel at en standard løsning med dampsperre på den varme siden av isolasjonen og vindsperre på den kalde siden er det tryggeste.

Dersom dampspærren byttes ut med en dampbrems eller vindspærre blir resultatene mer usikre (47).

I tillegg til bruk av dampspærre gjøres vanligvis konstruksjonen lufttett ved at overgangene tettes på følgende måter:

1. Skjøtene mellom elementene teipes
2. Skjøtene mellom elementene tettes med dekkbord
3. Det brukes pakninger/tettelister i overgangene mellom elementene



Figur 21: Ulike sammenføyninger av veggelementer av massivtre (21).

Massivtreelementene produseres vanligvis med ferdigfreste spor for sammenkobling mot naboelementer. Skjøtene mellom elementene vil vanligvis bli utført som myke sammenkoblinger. Sammenføyning skjer ved en not- og fjær-løsning, der fjæren som regel består av et kryssfinerbord som limes eller skrues fast i sammenføyningen. Sammenføyningen kan gjøres skjult, avhengig av om man ønsker at elementskjøten skal være synlig eller ikke (21).

#### 4.4.7 Byggfukt

Både bindingsverks- og massivtremoduler har den egenskapen at de kan leveres med høy ferdighetsgrad, noe som minsker byggetiden på selve byggeplassen, og dermed



reduserer byggfukt. Det er også fordelaktig at modulene leveres med omtrent samme fuktighet som i de planlagte omgivelsene.

Det finnes flere måter å beskytte bygg og byggematerialer på under byggeperioden. Et permanent eller midlertidig beskyttelsessystem kan settes opp rundt bygget mens det ytre arbeidet pågår. Byggesystemer som gjør det mulig å montere taket så raskt som mulig vil beskytte innvendige flater i tillegg til deler av ytterveggkonstruksjonen (21).

Bruk av prefabrikkerte moduler vil effektivisere fremdriften på byggeplassen. Etter montering kan modulene beskyttes med presenning. Mellomlagring på byggeplass bør unngås, da moduler og elementer lett kan bli tilsmusset eller ta opp fuktighet. Det er viktig å påse at moduler og som har blitt fuktige ikke dekkes til, da dette vil forhindre naturlig uttørking (21).

## 4.5 Bygningsfysikk del 2: Energi og kuldebroer

### 4.5.1 Teori og sentrale begreper

I denne delen skal gruppen ta for seg noen sentrale begreper som er viktige når man skal forklare de termiske egenskapene til ytterkonstruksjoner. Deretter sammenlignes to ulike yttervegger, én av massivtre og én av bindingsverk.

#### **Varmegjennomgangskoeffisient (*U-verdi*):**

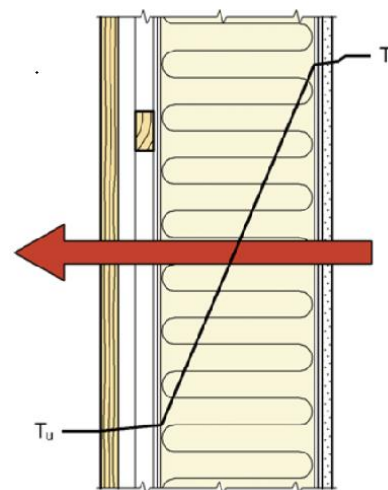
Et mål på hvor mye varme som passerer gjennom en bygningsdel. Måleenheten er  $W/m^2K$ . Byggforsk definerer det slik:

«*U-verdien for en bygningsdel angir hvor mye varme som strømmer gjennom et areal på 1 m<sup>2</sup> per tidsenhet og per grad temperaturforskjell mellom omgivelsene på hver side av bygningsdelen. Varmestrøm per tidsenhet måles i watt (W) og temperaturforskjellen måles i kelvin (1 K = 1 °C)*» (53).

Det stilles krav til *U*-verdier for ytterkonstruksjoner i Byggteknisk forskrift, avhengig av om bygningsdelen er en yttervegg, gulv, tak, vindu osv.

#### **Varmemotstand, *R*:**

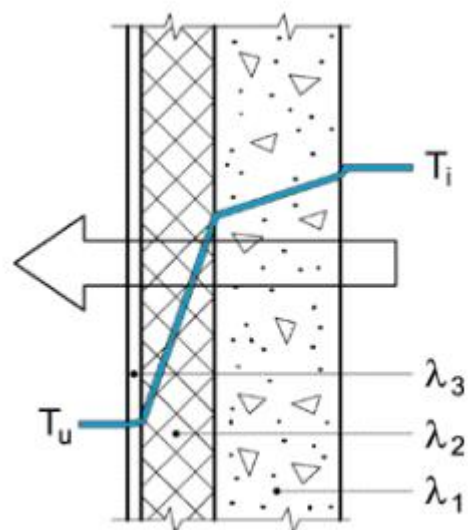
Sier noe om hvor godt et materiale isolerer mot varmegjennomgang. Måleenheten er  $m^2K/W$ . Verdien avhenger av materialets varmeledningsevne og tykkelse (54).



Figur 22: *U*-verdi (83)

### Varmekonduktivitet eller varmeledningsevne $\lambda$ :

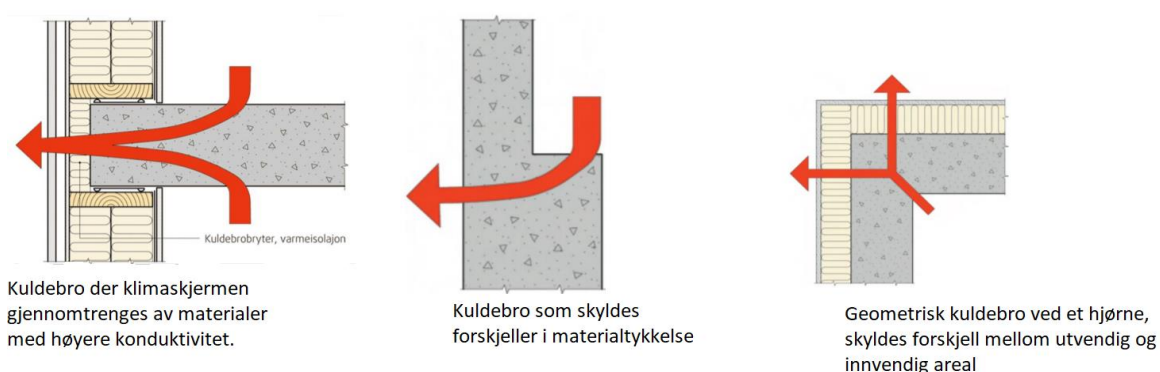
Sier noe om materialets evne til å lede varme ved termisk konduksjon. Måleenheten er W/mK. Verdien avhenger av materialets struktur, densitet, temperatur og fuktinnhold. Varmekonduktivitet blir ofte omtalt som lambda-verdi (54).



Figur 23: Varmekonduktivitet, varmeledningsevne,  $\lambda$  (84)

### Kuldebro:

En kuldebro er en del av klimaskjermen der varmemotstanden endres betydelig av følgende forhold (55):

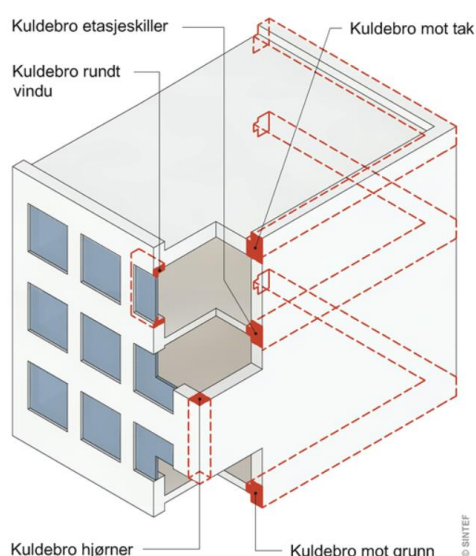


Figur 23: Ulike typer kuldebruer (85).

De to første er eksempler på konstruktive kuldebruer som ofte forårsaker høyt varmetap, mens den siste er eksempel på en geometrisk kuldebro som kan gi både

negativ og positiv effekt i energibalansen. Utgående hjørner påvirker i negativ retning på energibalansen mens inngående hjørner kan gi positivt effekt i energibalansen. Alle tre er eksempler på lineære kuldebru. Det er viktig å tenke på å minimalisere effekten av disse kuldebru verdiene da konsekvenser kan være blant annet (56).

- Økt varmetap kan forårsake stor del av bygningens transmisjonstap
- Lav overflatetemperatur og dermed redusert termisk komfort
- Kondens som fører til mugg og råte vekst i konstruksjonsdeler
- Temperaturspenninger som gir sprekkdannelser i selve konstruksjonen eller konstruksjonsdeler



Figur 24: Eksempler på tilslutninger hvor det ofte oppstår kuldebroer (86).

### **Lekkasjetall:**

Lekkasjetallet angir hvor lufttett et bygg er. Det er vanlig å finne lekkasjetallet ved trykktesting, hvor man måler volumstrømmen som blåses inn ved hjelp av en vifte og samtidig opprettholder en trykkforskjell på 50 pascal. Under denne type test er det viktig å tette alle åpninger, ventiler og sluker i bygget. Den luften som blåses inn ved hjelp av vifta, tilsvarer da lufta som lekker ut gjennom utetthetene i klimaskallet (8).

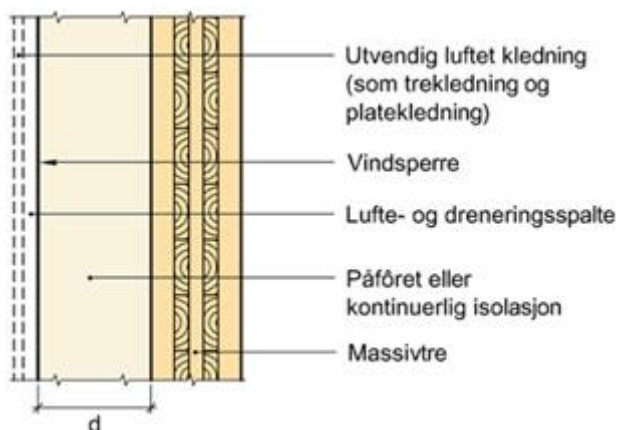
Lekkasjetallet beregnes ved å dividere denne luftstrømmen på oppvarmet volum i bygget. I noen tilfeller er det mulig å finne lekkasjetallet ved hjelp av byggets ventilasjonsanlegg, men dette ikke gir samme nøyaktig resultat som ved trykktesting. Luftlekkasjer gjennom klimaskallet vil øke varmetapet til bygget og er den viktigste

årsaken til skadelig oppfukning som inneluften har på konstruksjonen. Årsaken er at den varme luften som lekker ut i konstruksjonen blir avkjølt og kondenserer på den kalde siden av konstruksjonen (8). Dette er et problem som må tas hensyn til både ved prosjektering og gjennomføring. Det viktigste er å sikre et kontinuerlig innvendig og utvendig sperresjikt for å oppnå et tett bygg.

#### 4.5.2 Yttervegger av massivtre og bindingsverk

For å best mulig kunne sammenligne yttervegger med massivtre og yttervegger med bindingsverk er det valgt å se på to vegger med omtrent samme tykkelse. Veggen av massivtre har tykkelse 340 mm, mens veggen av bindingsverk er 350 mm tykk. Disse tallene inkluderer ikke innvendig og utvendig kledning eller lufting.

Isolasjonstyper som kan være aktuelt å bruke utenpå massivtrevegger er blant annet mineralullisolasjon, trykkfast isolasjon og trefiberplater (53).



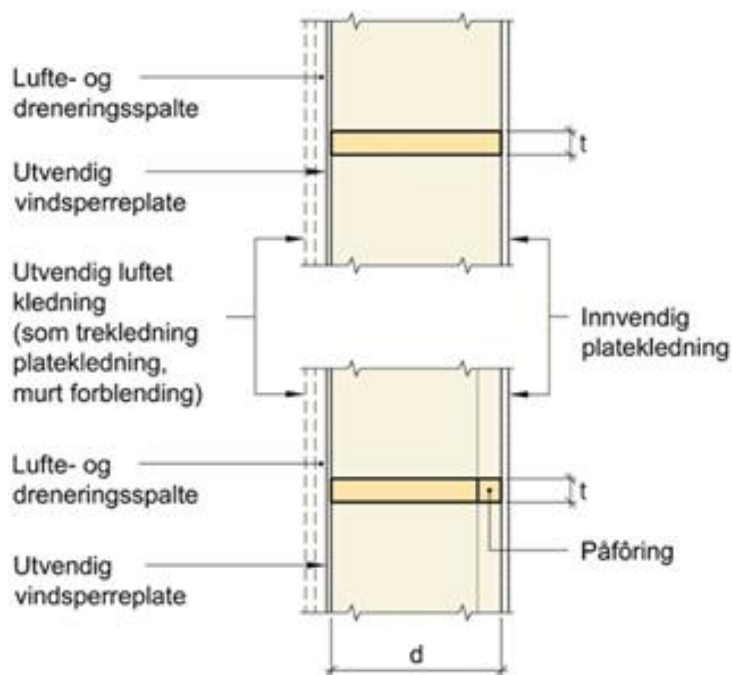
Figur 25: Oppbygging av en yttervegg av massivtre med utvendig påføret eller kontinuerlig isolasjon (87).

Tabellen til høyre viser beregning av en vegg som består av massivtre med kontinuerlig mineralullisolasjon, uten innvendig påføring eller kledning. Det forutsettes utvendig luftet kledning, for eksempel trekledning eller platekledning (87).

Massivtretykkelse [mm]	140
Isolasjonstykkelse [mm]	200
Total tykkelse [mm]	340
Varmekonduktivitet $\frac{w}{mk}$	0,034
U-verdi $\frac{w}{m^2k}$	0,136

Tabellen til høyre viser beregning av en vegg som består av massivtre med utvendig påfôret mineralullisolasjon med trestendere, uten innvendig påføring eller kledning. Det forutsettes utvendig luftet kledning, for eksempel trekledning eller platekledning (87).

Massivtretykkelse [mm]	140
Isolasjonstykkelse [mm]	200
Total tykkelse [mm]	340
Stenderdimensjon [mm]	48x198
Varmekonduktivitet $\frac{w}{mk}$	0,033
U-verdi $\frac{w}{m^2k}$	0,157



Figur 26: Oppbygging av vegg med isolert bindingsverk av tre med gjennomgående stendere (88).

Tabellen til høyre viser beregning av en vegg med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere med mineralullisolasjon. Det forutsettes 9 mm utvendig platekledning og 12,5 mm innvendig platekledning [Byggforskblad 471.401]

Total isolasjonstykkelse [mm]	350
Stenderdimensjon [mm]	48x296
Påføring-dimensjon [mm]	48x48
Varmekonduktivitet $\frac{w}{mk}$	0,033
U-verdi $\frac{W}{m^2K}$	0,117

### 4.5.3 Oppsummering

Beregningen viser at yttervegger som består av 140 mm massivtre og 200 mm utenpåliggende kontinuerlig mineralullisolasjon isolerer litt dårligere enn en yttervegg av bindingsverk med omtrent den samme totale tykkelsen. Forskjellen i U-verdi er på 0,019 W/m<sup>2</sup>K.

Hvis det brukes stendere i stedet for kontinuerlig isolasjon på utsiden av massivtre elementene blir U-verdien enda litt dårligere. Det er fordi gjennomgående stendere bidrar til økt varmetap. Da blir yttervegger av bindingsverk en langt bedre løsning, forbeholdt at begge veggtypene har samme tykkelse. I beregningen tas det for enkelhets skyld utgangspunkt i stendere av dimensjonen 48x296 mm, til tross for at denne dimensjonen ikke er vanlig å bruke. I tillegg er det innvendig påfôret isolasjon på 48 mm, noe som gir en total veggtykkelse på 350 mm.



## 4.6 Miljø

### 4.6.1 Trematerialers miljøegenskaper

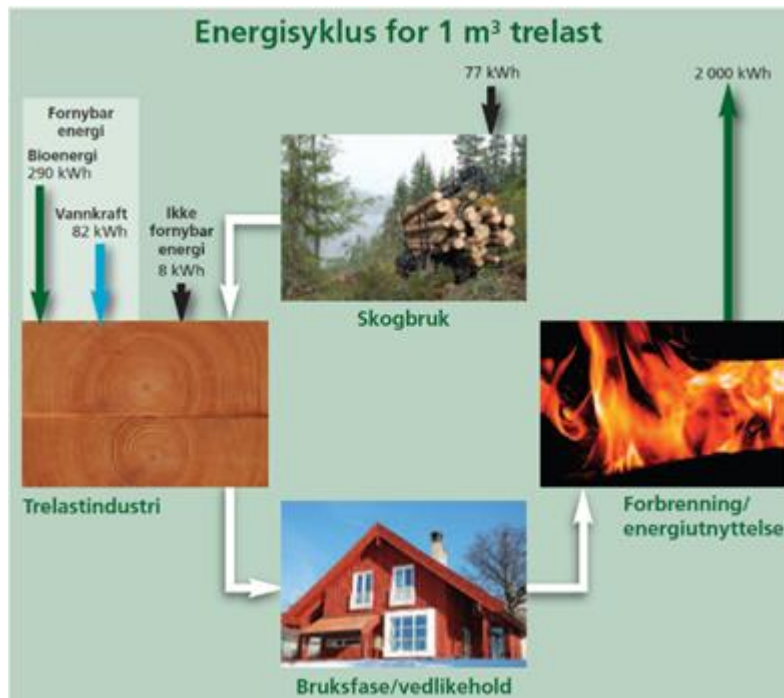
De siste årene har det blitt økt fokus på miljø og bruk av bærekraftige byggematerialer. I de fleste tilfeller blir trevirke trukket frem som et godt egnet byggemateriale.



Figur 27: Treet's livsløp (89).

BAE-næringen (forkortelse for bygg, anlegg og eiendom) er Norges største fastlandsnæring. Den blir ofte kalt for 40%-næringen, fordi den forbruker 40% av landets energi, 40% av materialer og produserer 40% av alt avfall i året (57). BAE forventes å vokse med 4,3% årlig frem til 2025 (58).

For å redusere klima og CO<sub>2</sub>-utslipp, må denne næringen gjøre effektive tiltak. Et av de viktigste tiltakene er å bygge med miljøvennlig og fornybart materiale, blant annet trevirke. Tre er et fornybart naturmateriale som har mange fordeler blant annet med hensyn til energiforbruk, CO<sub>2</sub>-utslipp og avfallsproduksjon (8). Trevirke har også mange gode egenskaper som gjør det til et allsidig byggemateriale, deriblant stor styrke i forhold til vekten. Samtidig er trevirke lett å fremstille og gjenbruke (59).



Figur 28: Energisyklus for 1 kubikkmeter trelast (60).

Tre er lett material sammenlignet med stål og betong og denne lette vekten gir mulighet for enklere fundamentering og krever da mindre energikrevende maskiner og kraner til byggeprosessen, noe som påvirker det totale utslippsregnskapet. Tre er med på å redusere klimautslippet på to måter. Den ene måten er substitusjon, som vil si at tre erstatter mer klimabelastende materialer som betong og stål. Stål og betong har høyt utslipp av CO<sub>2</sub> både ved produksjonsfasen og avfalls fasen. En kubikkmeter tre som erstatter betong er med på å redusere CO<sub>2</sub>-mengden med 0,2-2,1 tonn og 1 m<sup>3</sup> tre som erstatter stål vil redusere CO<sub>2</sub>-mengden med 0,2-0,5 tonn (60).

Den andre måten er gjennom karbonkretsløpet. Plantene binder til seg CO<sub>2</sub> fra luften gjennom fotosyntesen. Tre binder CO<sub>2</sub> hele tiden gjennom livsløpet sitt. Den første syklusen begynner gjerne fra frø til planter og fra planter igjen til store, utvokste trær. Trematerialet vil frigjøre den lagrede CO<sub>2</sub>-en ved naturlig nedbrytning og forbrenning. Dette tas igjen opp av nye planter og trær og bidrar dermed positivt på miljøet (60).

En kubikkmeter trelast tar opp mellom 0,7-0,9 tonn CO<sub>2</sub>. En enebolig består ofte av 14-22m<sup>3</sup> tre og slike boliger vil ta opp 11-16 tonn CO<sub>2</sub> gjennom sin levetid (60). Når et bygg nærmer seg slutten av sin levetid og blir revet, blir det meste av treavfall brukt

som bioenergi, noe som igjen begrenser bruk av fossilt brensel. En annen viktig faktor å tenke på er hvor byggematerialene produseres, da transport er en avgjørende faktor for valg av tre som byggemateriale. De fleste moduler importeres fra andre europeiske land som Estland og Latvia. Transporten av slike moduler til byggeplasser i Norge medfører store CO<sub>2</sub>-utslipp som påvirker det totale klimaregnskapet. Det er derfor viktig med norske element- og modulprodusenter som kan levere til byggeprosjekter i Norge for å redusere de totale utslippene i byggenæringen.

Totalt vil materialer av tre bidra til en bærekraftig fremtid med visse forutsetninger. Teknisk forskrift stiller ulike krav til bygninger som bygges i Norge. Det er blant annet energiforbruk og U-verdier. Målet med disse kravene er reduksjon i bruk av energi for å spare på klimaet og miljøet. Derfor har kravene blitt strammet i senere tid og det har sammenheng med begrepet «det grønne skiftet». Dette er et begrep som brukes i byggenæringen som presenterer generelt i retning mot en mer bærekraftig framtid. Det er derfor viktig å tenke på materialvalg tidlig i et prosjekt slik man oppnår en mer bærekraftig byggemetode. Stort sett er det bruksfasen som gir den største negative innvirkningen på miljøet for et bygg. For at et bygg skal være energieffektiv, må man redusere bygningens netto energibehov (energien som går til oppvarming, kjøling og utstyr).

Generelt har trevirke gode isolasjonsegenskaper, noe som bidrar positivt til det totale energiregnskapet for bygget. Isolasjonsegenskapene til tre er 15 ganger bedre enn betong. I følge treteknisk kan man oppnå en energibesparelse på 14% i massivtre-bygg sammenlignet med bygg som består av lette konstruksjoner med mineralull (57).

Fleretasjes boliger med massivtre i etasjeskilleren har blitt sammenlignet med den tradisjonelt lettere bjelkelagsløsningen, og konklusjonen viste at de to løsningene kom nokså likt ut med tanke på miljø. En forutsetning i undersøkelsen var at de to løsningene skulle oppfylle omtrent de samme kravene med tanke på lyd og brann (61).

#### **4.6.2 Skogsdrift i Norge**

Trevirke er lett tilgjengelig i Norge, da skoger utgjør 37 % av landets areal. Tilveksten av trevirke i skogene er dobbelt så stor som det blir hogd (59). Den gjennomsnittlige tilveksten til skogene er rundt 25,5 millioner m<sup>3</sup>, mens hogsten er på 10 millioner m<sup>3</sup>.

Dette betyr at man bør bruke dette fornybare byggematerialet i større grad til energi og bygging forutsatt at råmaterialet kommer fra en bærekraftig forvaltet skog (59).

Norge har som sagt rik tilgang på trevirke, likevel importeres det mye fra utlandet. Årsaken er at ulendt terreng og store avstander gjør transporten dyr. I 2008 ble det rapportert at avirkningen av skog nesten kunne tredobles uten konsekvenser for det biologiske mangfoldet (62). Internasjonalt finnes det sertifiseringsordninger som angir hvordan skoger kan drives på en miljøvennlig og bærekraftig måte. Hovedhensikten med sertifiseringsordninger er å sette søkelys på klimaet og miljøet.

Fremstillingen av trematerialer er enkelt og prosessen krever et lavt energiforbruk, hvilket medfører lave CO<sub>2</sub>-utslipp. Produksjonsenergien blir ofte hentet fra energikilder som forbrenning av restmaterialer som flis og bark. Framstilling av en kubikkmeter trelast krever 457 kWh og avgir 2000 kWh energi ved forbrenning. Man får dermed nesten 4 dobbelt så mye energi som man bruker ved å produsere det (60).

Det er med andre ord stort potensiale for å øke bruken av trematerialer her til lands, men forutsetningene kan være annerledes andre steder i verden. Produksjon av moduler med massivtre krever logisk nok mer trevirke enn når modulene består av bindingsverk. Dette vil ha innvirkning på miljøregnskapet.

## **4.7 Innemiljø**

### **4.7.1 Luftkvalitet og temperatur**

Det er stadig økende interesse rundt temaet innemiljø. Noe av årsaken er at en voksen person i dag oppholder seg innendørs 85-90 % av tiden. Derfor er innemiljø og kvaliteten på innvendig luft enda viktigere enn kvaliteten på luften ute. Luften inne kan til og med være mer forurenset enn luften ute (57).

Tre er et hygroskopisk materiale, og kan derfor ta til seg fuktigheten fra luften og avgi den igjen etter hvert som luftfuktigheten synker. På samme måten kan trematerialer også regulere temperaturen. Dermed kan massivtreelementene bidra til en behagelig overflatetemperatur og et behagelig inneklima (57).

Ubehandlet tre vil avgi noen naturlige flyktige forbindelser som mennesker sanser som lukt. Omfanget av dette ligger langt under grenseverdiene som er anbefalt i et arbeidsmiljø (57).

### **4.7.2 Miljø, trivsel og estetikk**

Tre blir oppfattet som et naturlig materiale. Bruk av trematerialer i innemiljøer kan ha stressreducerende effekt, og berøring av tre virker beroligende. Treoverflater gjør at personer henter seg inn igjen etter stress raskere. Dette er noen av de psykologiske effektene forbundet med trematerialer i interiøret (63).

En psykologisk undersøkelse gjennomført hovedsakelig på studenter i alderen 18-30 år viste at rom med interiør av trematerialer opplevdes som varmere og mer naturlige og bærekraftige enn dersom det brukes kunstige materialer (64).

Krav til varme- og lydisolasjon, samt brannkrav medfører ofte at kun én side av massivtreelementene blir synlig. Dette kan utnyttes i produksjon ved at det ytterste sjiktet på synlig side har andre kvaliteter enn de ikke-synlige sjiktene. Elementene består som regel av furu eller gran, men det er også mulig å benytte en annen tresort i de ytterste sjiktene for å få et helt annet uttrykk (21).

Overflaten på massivtreelementene kan behandles med maling eller lakk, og ved slitasje eller skader kan elementene pusses ned og behandles på nytt. Hvis treets

gode egenskaper med tanke på fukt og inneklime skal bevares bør overflaten behandles med et produkt som er diffusjonsåpen (21).

Smaken er forskjellig, noen setter pris på innvendige overflater av massivtre, mens andre foretrekker slette, hvitmalte vegger. Det går an å legge kledning på innsiden av massivtreelementene, men da blir også mye av hensikten med massivtre borte.

Bindingsverk kan derimot kles innvendig på mange ulike måter, til og med med tynne massivtreelementer i stedet for platekledning, utføret isolasjon og dampsperre (dette må vurderes ut ifra elementenes tykkelse og generelt bygningens tetthet).

Det er med andre ord større valgfrihet når det brukes bindingsverk. Mange ulike kledningstyper kan benyttes innvendig. Skader og merker etter spikere i veggene er enklere å få bort, enten ved at kledningen byttes ut eller ved overflatebehandling.

## 4.8 Tekniske installasjoner

### 4.8.1 Massivtre

Massivtreelementer gir en stor grad av frihet med tanke på tekniske installasjoner i et bygg. Installasjoner kan lett monteres i elementene på byggeplass. Elementene kan under produksjonen tilpasses de tekniske installasjonene. Det er en fordel å tenke tidlig gjennom hvilke tekniske installasjoner som skal inn, da dette vil ha betydning for tekniske løsninger, konstruksjonsdetaljer, byggehøyde, planløsning, rominndeling osv. Ettersom tre er et organisk materiale som krymper og sveller når fukt og temperatur endrer seg bør de tekniske installasjonene ha en viss fleksibilitet (21).

I store bygg hvor det skal monteres store ventilasjonskanaler, kan kanaler tilhørende rommet under plasseres i undertaket. Kanalene skal ikke ha direkte kontakt med undersiden på etasjeskilleren, men henges opp under massivtreelementet. Dette gjelder også for elektriske installasjoner. Av hensyn til lyd må det deretter monteres en lydisolerende himling under installasjonene. Tekniske installasjoner kan også plasseres over etasjeskilleren, ved at gulvet bygges opp med lekter eller tilfarere (21).

Føringer i veggene kan legges på mange måter, for eksempel i skjøtene mellom veggelementene, skjult på baksiden av veggelementet, eller i utfreste spor med tildekkingslist (21).



Figur 29: Elektriske føringer kan skjules på mange måter i massivtreelementer (21).

## 4.8.2 Bindingsverk

I bindingsverkskonstruksjoner er det etter hvert vanlig med et tynt (vanligvis 48 mm) lag påfôring innenfor dampsperran. Fordelen er at tekniske installasjoner kan legges skjult inne i veggen uten at det er nødvendig å perforere dampsperran (8).



Figur 30: Bildet viser en luftlekkasje ved lysbryter (42). Det er ikke brukt påfôret lag på innsiden av dampsperran.



## 4.9 Økonomi

### 4.9.1 Kostnader i et byggeprosjekt

Når man skal sammenligne konkurransedyktigheten for moduler i massivtre med moduler i bindingsverk, må man se på det helhetlige kostnadsbildet og ikke bare sammenligne kvadratmeterprisen for hver type (65).

Totaløkonomien til et byggeprosjekt består gjerne av ulike kostnader. Dette kan være kostnader for prosjektering, produksjon, transport, montering og forvaltning. Kostnader knyttet til blant annet lydkrav, brannkrav, miljø, og grunnforhold kan også påvirke den totale økonomien. Disse parametrene varierer fra prosjekt til prosjekt og kan derfor ikke settes en fast pris på. Når man ser på konkurransedyktigheten i et byggesystem, er det også viktig å betrakte samtlige konsekvenser som det valgte byggesystemet vil medføre i totaløkonomien i prosjektet (65).

I dag vurderer noen entreprenører bygg kun ut ifra teoretisk m<sup>2</sup> priser på ferdige moduler. Mange ser derimot at de får besparelse når de tar med forskjellige kostnader i beregning på store byggeprosjekter (65). Det er viktig at valg av prefabrikking av moduler gjøres i en tidlig fase av prosjekteringen, slik at disse kostnadsbesparelsene ikke kommer som en overraskelse senere i prosjektet.

Kort byggetid er klart den største fordelene ved bruk av begge modultypene i prosjekter. Når moduler produseres på fabrikken, går grunn- og fundamentarbeidene parallelt noe som gir klar gevinst. Moduler med høy ferdighetsgrad kan i tillegg minimere etterarbeid og montasjetid noe som vil gi lavere finanskostnader, grunnet kortere kapital bindingstid. Kort byggetid reduserer fuktskader som kan oppstå under bygging.

### 4.9.2 Forskjeller og likheter mellom de to modultypene

Massivtremoduler er litt tyngre enn bindingsverkmoduler, likevel har trematerialer generelt lav tyngdetetthet sammenlignet med stål og betong. Den lette vekten gir mulighet for enkle fundamentering og krever da mindre energikrevende maskiner og kraner til byggeprosessen noe som påvirker den totale kalkylen. I tillegg vil den lette vekten av modulene påvirke transportkostnaden, ettersom flere moduler kan fraktes samtidig. Utforming av modulene vil påvirke både kostnad og fremdrift. En annen

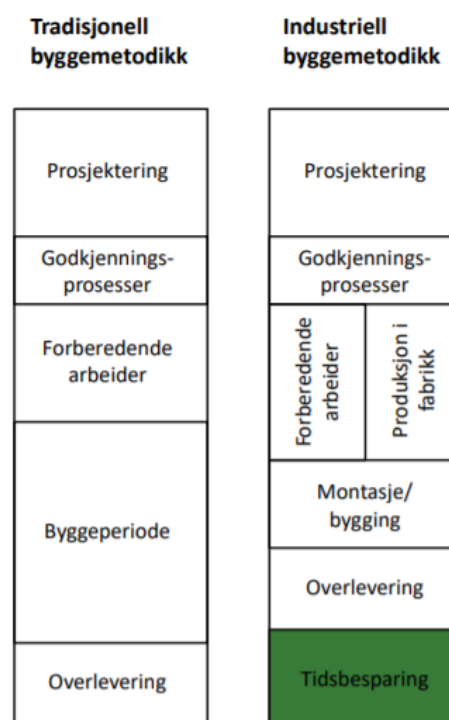
faktor som er viktig å tenke på er graden av repeterbarhet i bygging med moduler. Mest mulig gjentakelse av like moduler i bygninger vil bidra til rasjonell produksjon og montering (65).

Massivtre er et forholdsvis nytt byggemateriale sammenlignet med bindingsverk som er et kjent produkt med lang historie. Det er derfor begrenset med dokumentasjon om produktets konkurransedyktighet. Hvis det blir større tilgang på og konkurranse med massivtremoduler i Norge vil prisen sannsynligvis gå ned over tid. Splitkon har åpnet verdens største massivrefabrikk her til lands, noe som både vil øke kunnskapen rundt og tilgangen til massivtreprodukter.

Produksjonskostnader og montasjekostnader er lavere for massivtre moduler (65). De fleste moduler blir importert fra utlandet noe som gir større transportkostnader enn hvis de blir produsert her til lands. En annen viktig faktor som mange tenker på er at billigere materialer og arbeidskraft i utlandet veier opp for transportkostnadene. Man må alltid ta høyde for variable valutakurser når det planlegges å importere slike bygningsmoduler.

Det går selvsagt mindre mengder tre i bindingsverkmoduler enn massivtremoduler, noe som gir sparte materialkostnader.

Bindingsverkmoduler består gjerne av mange sammensatte materialer, og sammenføringer av disse medfører ofte mange arbeidsoperasjoner, noe som fører til økte lønnskostnader.



Figur 31: Tidsbesparelse med industriell byggemetodikk (2).

### 4.9.3 Massivtremoduler

Massivtremoduler er basert på stor grad av prefabrikasjon, noe som kreves nøye planlegging og prosjektering. Prosjektering av massivtreelementer koster 1000 til 1200 kr per time, og selve produksjonen koster 6000 kr/m<sup>3</sup> ifølge Nordisk massivtre. Ifølge Norsk massivtre er monteringskostnader for massivtreelementer ca. 20% av selve produksjonskostnaden.

Ifølge Splitkon koster et 3-sjikts 100 mm massivtreelement i stort volum 650 kr/m<sup>2</sup>. Prisen inkluderer kostnader knyttet til prosjektering, produksjon og transport. De påstår at prisen kan reduseres ned mot 500 til 550 kr/m<sup>2</sup> dersom prosessene rundt produksjonen effektiviseres. De understreker deretter at prisen på elementene vil avhenge mer av råvarepris på skurlasten som de kjøper inn og ikke minst lønnskostnader i produksjonen. Det er også mulig å få økonomisk besparelse i moduler av massivtre ved produksjon, siden disse modulene ofte består av færre sjikt og færre arbeidsoperasjoner sammenlignet med moduler av bindingsverk. Dette gir besparelse i lønnskostnader.

Dersom det utarbeides standardmoduler som kan brukes i hvert prosjekt, vil kostnadene knyttet til prosjektering reduseres (65). Andre faktorer som påvirker den totale kalkylen er fleksibilitet knyttet til pasning, hulltaking og enklere og rimeligere oppsetting av tekniske installasjoner. Bygninger med massivtremoduler har ingen særegne krav til vedlikehold, noe som gir gevinst på lang sikt. Massivtremoduler kan lett demonteres, og hele eller deler av konstruksjonen kan deretter gjenbrukes eller benyttes til andre formål. Dette gir økonomisk besparelse (57).

### 4.9.4 Kostnadsberegning

De påfølgende tabellene viser kostnadsberegninger av henholdsvis en yttervegg som består av tradisjonelt bindingsverk, og en med massivtre. Veggene har omtrent den samme tykkelsen.

For hver ytterveggene er det regnet ut materialkostnader (sjiktpriser) og kostnader for arbeidet som gjøres, presentert i to adskilte tabeller. Etterpå legges disse to tallene sammen for å få en total kostnad. Resultatet gir en pekepinn på hvorvidt man vil spare eller tjene penger ved valg av modultype.

## 4.9.5 Bindingsverk

*Sjiktpriser for bindingsverk veg*

<b>sjikt</b>	<b>Tykkelse</b> <b>[mm]</b>	<b>Måles i</b>	<b>lm pr m<sup>2</sup></b>	<b>Enhetspris</b> <b>[kr]</b>	<b>Pris per m<sup>2</sup></b> <b>[kr]</b>
Liggende Utvendig kledning	19	lm	7,69	20,70	159,18
Lekt	23	lm	3,5	11,9	41,65
Vindsperre		m <sup>2</sup>		29,13	29,13
Stenderverk	48x198	lm	3,5	38,9	136,15
Isolasjon	200	m <sup>2</sup>		99,95	99,95
Dampsperre		m <sup>2</sup>		7,91	7,91
Isolasjon	50	m <sup>2</sup>		37,65	37,65
Innvendig påføring	48	lm	3,5	8,5	29,75
Gips	12,5	m <sup>2</sup>		30,90	30,90
<b>Totall</b>					<b>572,27</b>

### Kommentarer:

lm = løpemeter

Det er beregnet for yttervegg i en enebolig med romhøyde 2,4 m

Alle prisene er hentet fra Byggmakker.no

### Arbeidspriser for bindingsverk vegg

Sjikt	Tykkelse [mm]	Måles i	Antall timer	Pris per time [kr]	Total pris per m <sup>2</sup> [kr]
Liggende Utvendig kledning	19	t/ m <sup>2</sup>	0,40	400	160
Lekt	23	t/ m <sup>2</sup>	0,10	400	40
Vindsperre		t/ m <sup>2</sup>	0,15	400	60
Stenderverk	48x198	t/ m <sup>2</sup>	0,31	400	124
Isolasjon	200	t/ m <sup>2</sup>	0,10	400	40
Dampsperre		t/ m <sup>2</sup>	0,11	400	44
Isolasjon	50	t/ m <sup>2</sup>	0,07	400	28
Innvendig påføring	48	t/ m <sup>2</sup>	0,10	400	40
Gips	12,5	t/ m <sup>2</sup>	0,22	400	88
Totall					624

Når sjiktpriser og arbeidspriser slås sammen får denne tradisjonelle bindingsverksveggen en totalpris på **1196,27 kr pr m<sup>2</sup> vegg**.

#### Kommentarer:

Det er brukt norsk prisbok for å finne antall timer og det er lagt til grunn tømmer tariff på 400 kr/t på utførelse av arbeid

## 4.9.6 Massivtre

*Sjiktpriser for massivtre vegg*

<b>Sjikt</b>	<b>Tykkelse [mm]</b>	<b>Måles i</b>	<b>lm pr m<sup>2</sup></b>	<b>Enhetspris [kr]</b>	<b>Pris per m<sup>2</sup> [kr]</b>
Liggende Utvendig kledning	19	lm	7,69	20,70	159,18
Lekt	23	lm	3,5	11,9	41,65
Vindsperre		m <sup>2</sup>		29,13	29,13
Stenderverk	48x148	lm	3,5	38,9	136,15
Isolasjon	150	m <sup>2</sup>		99,95	99,95
Massivtre	100	m <sup>2</sup>		650	650
<b>Totall</b>					<b>1116,06</b>

### Kommentarer:

lm = løpemeter

Prisen på massivtre er hentet fra Splitkon. Prisen er inkludert ferdig prosjektert, produsert og levert. Resterende priser er hentet fra Byggmakker

#### Arbeidspriser for massivtre vegg

Sjikt	Tykkelse [mm]	Måles i	Antall timer	Pris per time [kr]	Total pris per m <sup>2</sup> [kr]
Liggende Utvendig kledning	19	t/ m <sup>2</sup>	0,40	400	160
Lekt	23	t/ m <sup>2</sup>	0,10	400	40
Vindsperre		t/ m <sup>2</sup>	0,15	400	60
Stenderverk	48x148	t/ m <sup>2</sup>	0,31	400	124
Isolasjon	150	t/ m <sup>2</sup>	0,10	400	40
Massivtre	100	t/ m <sup>2</sup>	0,12	400	48
Totalt					72

Denne massivtreveggen får en totalsum på **1588,06 kr pr m<sup>2</sup> vegg**.

#### 4.9.7 Oppsummering:

Ytterveggen som består av bindingsverk koster totalt 1196,27 kr pr kvadratmeter vegg.

Ytterveggen som består av massivtre koster totalt 1588,05 kr pr kvadratmeter vegg.

Det er en differanse på 391,78 kr pr kvadratmeter vegg. Utregningene viser at produksjonskostnader for massivtrevegger er lavere enn for vegger av tradisjonelt bindingsverk, da de mange arbeidsoppgavene er mer tidkrevende for sistnevnte type.

Når det gjelder materialkostnader er massivtrevegger nesten dobbelt så dyre å produsere som bindingsverksvegger. Materialkostnader for de to veggtypene er henholdsvis 1116,06 kr (massivtre) mot 572,27 kr (bindingsverk) per m<sup>2</sup> vegg.

Dette betyr at for massivtrevegger så utgjør materialkostnader nesten 70% av totalkostnadene. Tilsvarende for bindingsverksvegger utgjør materialkostnader nesten 44% av totalkostnadene. Det er åpenbart at det går mye mer tre mengder i vegger av massivtre enn bindingsverksvegger. Ifølge Splitkon er det viktig at alle kostnadene som hver modultype medfører i et byggeprosjekt inngår i kostnadsberegningene, for å se hvilken modultype som er mest lønnsom.

## **5. Innovative løsninger rettet mot massivtre**

### **5.1 Hensikt**

I denne delen av rapporten skal gruppen se på to ulike produkter rettet seg spesielt mot bygging med massivtre. Det første produktet er Glava Pluss System, et system som brukes til isolering av hovedsakelig yttervegger. Gruppen vil vise hvordan dette systemet kan benyttes både i massivtrevegger og i vegger av bindingsverk.

Det andre produktet er X-fix fra Hasslacher Group. Dette er et treprodukt som brukes i sammenføyninger mellom massivtreelementer, som alternativ til mer standardiserte løsninger med beslag og skruer. Hensikten med å presentere dette produktet er å vise eksempler på hvordan det går an å bygge med massivtre med festemidler av tre i stedet for metall.

### **5.2 Glava Pluss System (GPS)**

#### **5.2.1 Generelt om Glava Pluss System**

Gruppen vil undersøke hvordan dette systemet fungerer med yttervegger av massivtre og bindingsverk. Produktet kan også brukes til betong, tegl og porebetong, men dette vil ikke inngå i teksten, da dette ikke er relevant for oppgaven. Glava Pluss System kan brukes til både nybygg og rehabilitering av bygninger (66).

Dette isolasjonssystemet består av stendere laget av stuket glassull (stående fibre) med pålimt treverk. Det stukede glassullet gir høy trykkstyrke kombinert med lav vekt. Treverket er stykker av bord som er fingerskjøtt og limt, noe som gir en høy stivhet og minimal kuring. Systemet kan festes direkte til ytterkonstruksjoner av bindingsverk, massivtre, betong, tegl og porebetong med senteravstand 600 mm eller 1000 mm. Valg av dimensjoner og montasje avhenger av blant annet vindlast, bygningshøyde, terrengkategori og valg av kledning (66).

Systemet kan festes til bindingsverk så lenge stendernes bredde er minimum 45 mm. Systemet kan benyttes til rehabilitering og nybygg med inntil 32 meters høyde. Med denne løsningen er det mulig å oppnå et tilnærmet kontinuerlig isolasjonssjikt og betydelig reduserte kuldebroer, sammenlignet med bindingsverk. GPS-systemet kan

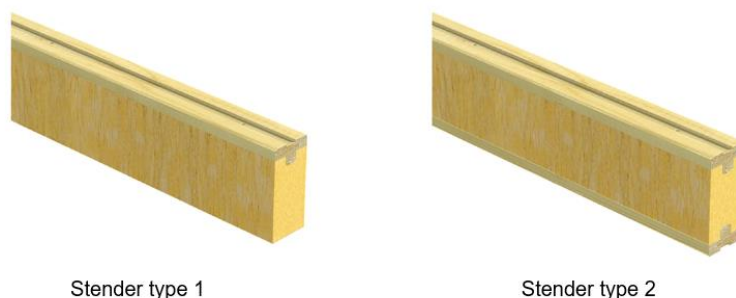


monteres raskt og enkelt med vanlige håndverktøy. Det unike systemet gir rom for fleksibilitet ved valg av kledning, noe som gir arkitektonisk frihet under oppgradering av gamle bygninger. Under oppgradering kan nytt ventilasjonsanlegg eller el anlegg legges skjult inni veggen. Ved å kombinere dette systemet med konstruksjoner av massivtre eller bindingsverk er det mulig å oppnå lavenergi- eller passivhusstandard uten at det er nødvendig å gjøre krevende endringer på bærekonstruksjonen (66).

## 5.2.2 Komponenter i Glava Pluss System

### *Glava pluss stender*

Stenderne er laget av stuket glassull (stående fibre) med pålimt treverk. Stenderne som blir brukt i dette systemet kommer i to utgaver. Stender type 1 har treverk kun på den ene siden, mens stender type 2 har trevirke på begge sider. Type 1 blir vanligvis brukt der det er mindre lastpåkjenninger og uten behov for ekstra festemuligheter. Stender type 2 blir brukt når systemet skal bære last og blir benyttet som bunnsvill, rundt vinduer, rundt dører og til hjørneløsninger. Bunnsvillen kan gjæres i vinkel om ønskelig til hjørneløsninger. Oppbyggingen vil redusere kuldebroer og skape et kontinuerlig isolasjonssjikt sammenlignet med tradisjonelt bindingsverk. Isolasjonen i stenderne har en  $\lambda$ -verdi på 0,043 W/mK, som er bra sammenlignet med gjennomgående stenderne av konstruksjonsvirke. Dette er hovedgrunnen til å velge dette produktet (66).



*Figur 32: De to stendertypene i GPS-systemet (90).*

## Glava Pluss Plate

Disse platene brukes mellom GPS-stendere og har en  $\lambda$ -verdi på 0,033 W/mK, og dessuten Euroklasse A1, som vil si at de er ubrennbare. Platene kommer i tre ulike tykkelser: 100, 150 og 200 mm. Det anbefales å bruke to lag med 150 mm av denne platen ved 90 mm stenderbredde. De øvrige dimensjonene på platen er 515 x 915 mm, som gjør det mulig med både senteravstand c/c 600 mm og c/c 1000 mm (66).



Glava pluss plate produkt



Glava plussplate på massivtre yttervegg

Figur 33: GPS-plate i henholdsvis pakke og ferdig montert på yttervegg av massivtre (66).

Tabellen nedenfor viser hvilke dimensjoner av GPS-stendere som kan brukes på ulike konstruksjoner (66).

Konstruksjon Dimensjon	KL-tre (massivtre)	Betong og massivtegl	Stenderverk av tre	Lettklinker og porebetong
98 mm	x	x	x	x
150 mm	x	x	x	x
200 mm	x	x		
250 mm	x			
290 mm	x			

### 5.2.3 Montering på vegg på stenderverk av tre

Ved montering av GPS-systemet på stenderverk av tre, må stenderbredde være minimum 45 mm. For bindingsverk er det kun mulig å bruke GPS-stender og -plate med dimensjon på 98 eller 150 mm. Som bunnsvill kan GPS-stender type 1 benyttes. Når systemet skal bære last fra vinduene og andre vertikale laster, må type 2 benyttes som bunnsvill i stedet. Det er viktig at bunnsvillen har god styrke for å unngå eventuelt brudd. På stenderverk av tre kan systemet monteres med avstand c/c 600 mm eller

c/c 1000 mm. Det er avhengig av blant annet av vindlast, bygningshøyde, terrengkategori og valg av kledning (66).

GPS-stendere har 5 ferdigborrede hull hvor skruer kan skrues direkte inn i treverket bak. Skruene er korrosjonsbeskyttet, og lengden på skruene er avhengig av dimensjonen på stender. Det blir benyttet 150 mm lange skruer til 98 mm stender og 200 mm lang skrue til 150 mm stender (66). Det er plassert en gjennomgående forsenkning i midten av stenderne slik at skruene ikke stikker ut. Under montering er det viktig å ikke skru altfor hardt, da det kan føre til ujevnheter. Hvis det er ujevnheter anbefaler GLAVA® dobbeltsidig tetteband mot svillen for å sikre god tetting (66).

Det blir festet et bord under svillen for å forhindre inntrengning av mus og insekter og ikke minst for å beskytte vindsperran under bunnsvillen. Mellom stendere blir det benyttet GPS-plate som festes med Glava veggplate brakett. Alternativt kan platene festes med metallbeslag, hvilket gir økt varmetap. Det er viktig å montere systemet fortløpende for å beskytte mot vær og vind. Når vindsperrereduk skal monteres må først en stripe med vindsperre monteres bak bunnsvillen. Denne stripen kan brettes rundt svillen for å sikre kontinuerlig lufttetting. GU-gips kan alternativt benyttes istedenfor for vindsperrereduk (66).



Figur 34: Montering av GPS på bindingsverk vegg (66).

#### 5.2.4 Montering på massivtreelement

Ved montering av GPS-stendere og -plater utenpå massivtreelementer går det an å velge mellom flere ulike dimensjoner. Stenderne kan monteres med senteravstanden c/c 600 mm eller c/c 1000 mm. På samme måte som for bindingsverk går det an å bruke stender type 1 som bunnsvill, med mindre systemet skal bære last fra vinduer og andre vertikale laster, da må type 2 brukes i stedet. Stenderne og svill kan festes med tilstrekkelig lange skruer og lengden på skruene er avhengig av stendertykkelse.

Alternativt går det an å bruke bunnsvill av vanlig konstruksjonsvirke. Vindspærren skal monteres på samme måte som i bindingsverkmoduler. Hvis det er ujevnheter anbefaler GLAVA® dobbeltsidig tettebånd mot svillen for å sikre god nok tetting. Når stendere monteres på støpt bankett/såle kan bunnsvillen droppes. Man må da huske å montere spikerslag mellom stenderne for innfesting av musebånd og innklemming av vindspærre. I tillegg anbefales det at man legger inn et kapillærbrytende sjikt av grunnmurspapp på banketten (66).

Vindspærren skal monteres på samme måte som i bindingsverk elementer. Hvis det er ujevnheter anbefales GLAVA® Dobbeltsidig Tettebånd mot svillen for å sikre god tetting. Når man skal feste stendere på støpt banket/såle, kan man droppe bunnsvillen. Man må da huske å montere spikerslag mellom stenderne for innfestning av musebånd og inn klemming av vindspærre. I tillegg anbefales det å legge inn et kapillærbrytende sjikt av grunnmurspapp på banketten (66).



Figur 35: Montering av GPS-system på massivtrevegg (66).

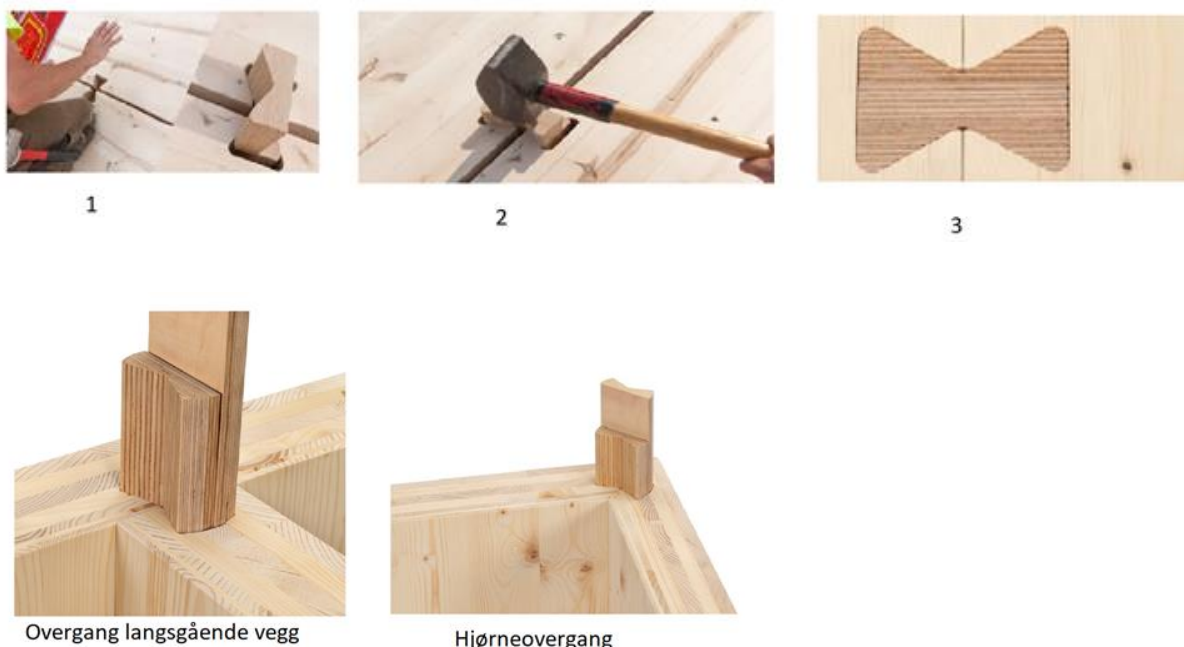
## 5.3 Sammenføring av massivtremoduler uten metall

### 5.3.1 Generelt om systemet

I dette delkapittelet vil gruppen undersøke et system for sammenkobling av massivtre-elementer som er laget av tre, i stedet for metall. Både festemidler av tre og stål har sine fordeler og ulemper. Som forklart tidligere i oppgaven har stål bedre styrke enn trevirke, mens trevirke har lavere varmeledningsevne. Dessuten er tre et naturlig og miljøvennlig materiale, derfor kan det være interessant å undersøke et slikt system.

Tilkoblingssystemet heter «X-fix» og består av doble kileforbindelser av bøk eller bjørk som skal gjøre det enklere å sammenføre massivtreelementer. Kilene bankes på plass i ferdiglagde spor i massivtreelementene og låser de dermed fast på den måten med høy nøyaktighet. Med dette tilkoblingssystemet går det an å spare tid, da det bare krever en klubbe for å banke kilene på plass. Det finnes to utgaver av dette systemet: X-fix C og X-fix L. Førstnevnte blir brukt til tilkobling av takelementer, etasjeskillere og veggelementer, mens X-fix L brukes i hjørneoverganger og langsgående overganger. Tykkelsen på kileforbindelsene varierer fra 100-140 mm fordelt på 5 lag (67-68).

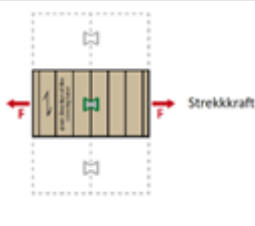
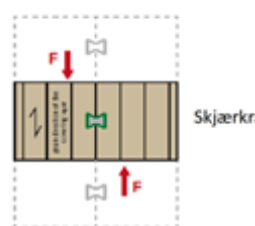
### 5.3.2 Montering og nærmere forklaring



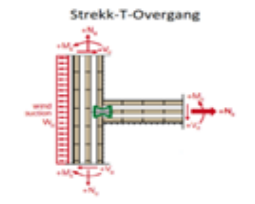
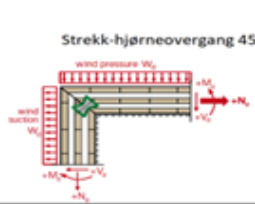
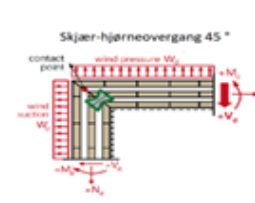
Figur 36: Monteringsanvisning for X-fix L (67).

De to kilene settes inn, én om gangen. Deretter klubbes de på plass.

Tabellen viser last bærekapasitet og stivhet type X-fix C per tilkobler

Type kraft	Bærekapasitet $R_k$ [kN]	Stivhet $K_{Ser}$ $\frac{kN}{mm}$
	28	20
	28	20

Tabellen viser last bærekapasitet og stivhet type X-fix L per løpemetar

Type kraft	Bærekapasitet $R_k$ $\frac{kN}{m}$	Stivhet $K_{Ser}$ $\frac{kN}{\frac{mm}{m}}$
	15	14,5
	14	8,3
	8	6,5

Tabellene over viser bærekapasitet og stivhet for henholdsvis X-fix C og X-fix L (68).

Systemet har sine fordeler og ulemper. Dette er noen av fordelene som Hasslacher Norica Timber nevner: (68)

- Enkelt å installere
- Høy kvalitet på bøk eller bjørk gir gode mekaniske egenskaper
- Fullstendig stålfritt system

Noen viktige poeng som nevnes: (68)

- Systemet må holdes tørt både i lagringstiden og brukstiden
- Det må også tas høyde for deformasjon når systemet skal brukes

Dette er utvilsomt et interessant produkt med stort potensiale. Gruppen har ikke kjennskap til om dette eller lignende produkter har vært brukt i Norge tidligere, og mener at lignende løsninger bør forskes videre på før de tas i bruk i byggeprosjekter.

## 6. Intervjuer og befaringer

### 6.1 Befaring hos Skanska Husfabrikken AS

Skanska Husfabrikken AS holder til i Steinkjer og er en produsent av elementer og moduler. De produserer moduler med maksimal bredde 4 m og lengder opp til 12,5 m. Standard innvendig romhøyde er fra 2,4 til 2,7 m. De har byggeprosjekter i hele Norge, og bygger alt fra boliger til skoler og omsorgsboliger. Gruppen møtte sjef ved fabrikken og en av de ansatte, og fikk anledning til å stille spørsmål rundt modulene og innblikk i flere av prosjektene deres. Deretter ble gruppen vist rundt i fabrikken og fikk forklart hvordan produksjonen foregår og hvordan elementene og modulene er bygget opp.

Rask byggetid blir trukket frem som den viktigste grunnen til å bruke moduler og elementer i byggeprosjekter. Noen eksempler på prosjekter som Husfabrikken har levert til er Lynghaugparken skole i Bergen og et stort boligprosjekt på Svalbard. Arbeidet på de 30 første boligene av boligprosjektet på Svalbard begynte i juni 2018 og ble fullført like før jul samme år (98). Klimaet på Svalbard gjør at det kan være krevende å bygge, noe som gjør prefabrikasjon gunstig.

Per dags dato produserer Husfabrikken moduler og elementer av bindingsverk. De ønsker å undersøke mulighetene for å bruke massivtre i fremtiden, da det er økende markedsetterspørsel etter dette. Per dags dato brukes massivtre kun innvendig som erstatning for kledning, dampspærre og innvendig påføring dersom kunden ønsker det, altså ikke som en bærende bygningsdel.

I tillegg til å påpeke de positive sidene med massivtre så uttrykker de noe skepsis for materialet, både basert på egne erfaringer og det faktum at massivtre er et nokså nytt materiale. Store deler av forskningen på massivtre har foregått i Sentral-Europa, hvor klimaet er noe annerledes enn i Norden. Bekymringene dreier seg blant annet om at treverket krymper etter bygging, noe som er særlig problematisk dersom det brukes andre materialer i tillegg til massivtre (for eksempel bindingsverk), siden de ulike materialene vil reagere ulikt på endringer i temperatur og fuktighet.

Kostnadmessig er det ikke så stor forskjell på plassbygd og prefabriert, men i sistnevnte tilfelle kommer mesteparten av utgiftene tidligere i prosjektet, slik at den totale kostnaden for prosjektet blir mer forutsigbart.



## 6.2 Erfaringer fra andre element- og modulprodusenter

I denne delen skal gruppen oppsummere hvilke utfordringer, fordeler og ulemper ulike produsenter opplever ved bygging med moduler av massivtre og bindingsverk.

Gruppen har intervju 6 ulike produsenter som har blitt anonymisert før svarene deres blir publisert i denne studien. Intervjuene har foregått per telefon og e-post.

Produsenter	Produkter	Plassering
Produsent 1	Byggmoduler, Byggesystemer i limtre, vegg og tak elementer	Innlandet fylke
Produsent 2	Krysslaminerte elementer, bæresystemer er basert på kombinasjoner av konstruksjonslimtre, S-bjerkene, limtrepanel og KI-tre	Innlandet fylke
Produsent 3	Massivtre elementer som tak, etasjeskiller og vegg	Viken fylke
Produsent 4	Massivtre elementer som tak, etasjeskiller og vegg	Innlandet fylke
Produsent 5	Bygningselementer som tak, vegg og etasjeskiller, takstoler, ferdig kappede materialer	Oslo
Produsent 6	Byggmoduler i massivtre	Sverige

### Produsent 1

Denne produsenten produserer moduler og elementer av bindingsverk og har ingen erfaring med massivtre. Hovedgrunnen til at de ikke har satset på massivtre er at massivtre både er et dyrere og et nokså nytt byggemateriale i Norge. Videre påstår de at massivtre i seg selv ikke klarer å oppfylle funksjonskravene med tanke på lyd, brann og varmeisolasjon, noe som fører til økt totalkostnad i byggeprosjekter. Samtidig understreker de at fordelene med massivtre er den gode bæreevnen sammenlignet med moduler av bindingsverk. Erfaringsmessig får de nesten 5 mm deformasjon per etasje i modulbygg av bindingsverk.

## **Produsent 2**

Denne produsenten produserer krysslaminerte elementer og bæresystemer som er basert på kombinasjoner av konstruksjonslimtre, S-bjelker, limtrepanel og KL-tre. Ifølge produsenten er det stort potensiale i markedet for modulbygging med massivtre. Videre påstår de at det ikke er noen utfordringer knyttet til massivtremoduler i Norge. De kjenner godt klimaet og tar hensyn til dette ved prosjektering. De understreker at bruk av massivtre vil forenkle og effektivisere produksjonen av bygningselementer sammenlignet med bindingsverk. Massivtreelementer er mer stabile og tåler løfting bedre enn bygningsdeler av bindingsverk. En kombinasjon med limtre som primært bæresystem er en god løsning for høye bygg av massivtre. Limtre blir produsert med samme lim og like prinsipper som massivtre. De nevner også at det vil ta omtrent 10-15 år før resten av markedet følger etter deres anbefalinger og retningslinjer om bruk av massivtreelementer.

## **Produsent 3**

Denne produsenten produserer massivtreelementer som tak, etasjeskiller og vegg. Funksjonskravet med tanke på lyd og brann kan fikses med sylomer og gips ifølge denne produsenten. Den største utfordringen med massivtreelementer er regn under montering og uvitenhet hos de fleste byggentreprenører vedrørende fukt, svelling og krymping. Elementer i massivtre veier mer enn bindingsverk, noe som åpenbart tilsier at det går med større mengder trevirke i produksjonen. Dette gir økt materialkostnad. Det er vanskeligere å skjule el-anlegg i massivtre elementer enn i bindingsverk.

## **Produsent 4**

Denne produsenten produserer massivtreelementer som tak, etasjeskiller og vegg. De peker på at byggentreprenører må bli mer bevisste på at massivtre ikke kan være eksponert utvendig uten kledning. Dessuten er det vanskeligere å oppfylle lydkravet i etasjeskillere av massivtre enn bindingsverk. Elementer av massivtre konkurrerer i brannmotstand mot bindingsverk elementer.

## **Produsent 5**

Denne produsenten produserer bygningselementer som tak, vegg og etasjeskiller, takstoler og ferdig kappede materialer. De presiserer at elementbygging krever god planlegging og elementprodusenten må involveres tidlig i prosjektet. Dampsperre på elementene blir montert på byggeplass på grunn av lettere sammenføring.

Elementene består av bindingsverk, og leverer ikke selv massivtre, men leverer i samarbeid med massivtre leverandører. Elementbygging på fabrikken gir mindre byggfukt, mindre avfall og gjør at kostnadene kommer frem tidligere i prosjektet.

### **Produsent 6**

Denne produsenten produserer bygningsmoduler i massivtre. Ferdighetsgrad på modulene er på 96% før modulene forlater fabrikken. Lydisolasjon og dekking av modulene under montering er de største utfordringene ved massivtre bygging i Norden. Massivtre moduler veier litt mer enn bindingsverks moduler og utenom det er det mye lettere å jobbe med massivtre kontra bindingsverks moduler. Når det er snakk om pris så er det mange faktorer som spiller inn, blant annet om planene for husene er utformet for bygging i massivtre moduler eller ikke. Det er viktig at produsenten blir involvert tidlige i modulbygging, slik at man ikke må gjøre noe ekstra tiltak.

Materialkostnaden for massivtre moduler er dyrere enn bindingsverks moduler. Det er kort byggetid med massivtre moduler enn bindingsverk moduler.

## 7. Konklusjon

Prefabrikasjon av moduler og elementer vil effektivisere byggeprosjekter, redusere byggetid og øke kvaliteten på sluttproduktet. Moduler av massivtre og bindingsverk har sine fordeler og ulemper, og disse må tas i betraktning tidlig i prosjektet slik at det mest hensiktsmessige materialet blir valgt. Massivtre er et enkelt materiale å bygge med, men krever mer prosjektering for at sluttresultatet skal bli bra. Massivtre har stor lastbærende funksjon og god brannmotstand, noe som gjør det trygt å bruke i store og høye bygninger. Når massivtreelementer er brukt som dekker og vegger fordeles lasten som en kontinuerlig last i stedet for punktlaster, og det oppstår mindre lokale påkjenninger. Massivtreelementer kan brukes som stabiliserende skiver i konstruksjonen, og vil avstive bygget. Samtidig kan moduler av massivtre enkelt stables eller kombineres med andre trematerialer, eksempelvis limtre.

På grunn av sin kompakte oppbygging vil massivtre brenne tregere og dessuten bevare stabilitet og bæreevne gjennom et helt brannforløp. Massivtre kan dimensjoneres for å stå like lenge som de fleste mur- og betongkonstruksjoner. Massivtre kan isoleres kontinuerlig på utsiden uten gjennomgående stendere, noe som vil gi en kuldefri konstruksjon, men det å bruke bindingsverk vil en få en slankere yttervegg. Når det gjelder lyd er det ikke store forskjeller på bindingsverk og massivtre, men bindingsverksløsninger har generelt bedre dokumentasjon. På den annen side er massivtre et enkelt materiale å bygge med, og færre og enklere arbeidsoppgaver gjør det mulig å redusere byggefeil.

De fleste moduler som brukes i norske byggeprosjekt importeres fra andre europeiske land, som Latvia og Estland. Transporten medfører store CO<sup>2</sup>-utslipp som påvirker det totale klimaregnskapet. Det er derfor viktig med norske element- og modulprodusenter som kan leveres til norske modulprodusenter. Bindingsverk er lettere enn massivtre, noe som er fordelaktig ved transport, men også massivtre lett sammenlignet med stål og betong. Dette gjør at det ikke er nødvendig med like omfattende fundamentering. Moduler og elementer av bindingsverk er fremdeles en del billigere enn dersom de bygges med massivtre, men prisen på massivtre vil sannsynligvis gå ned over tid viss etterspørselen og tilgangen etter materialet øker. Produksjon av trevirke krever langt mindre energi enn stål- og betongproduksjon. Norske skoger har stort potensiale og er bærekraftige, da volumtilveksten er nesten dobbelt så stor som hogstvolumet. Der

bindingsverk har sine begrensninger er massivtre et godt alternativ, og kunnskapen rundt materialet bør derfor økes i Norge, slik at flere ønsker å ta i bruk teknologien.

Massivtre er et nokså nytt materiale, og det finnes ikke like mye informasjon om det som om bindingsverk. Særlig innenfor brann og lyd finnes det lite informasjon.

Gruppen anbefaler at dette forskes videre på, og at det utvikles produktstandarder/ preaksepterte løsninger som vil gjøre det enklere å ta i bruk materialet. De siste årene har det blitt økt fokus på miljø, derfor anbefales det å gjøre en livsløpsanalyse av moduler med de to byggematerialene, for å få et godt svar på hvilken type modul som gir størst miljøgevinst.

## 8. Referanseliste

1. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 1 - generelt, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>
2. Nakken, Olav med flere. Markedsundersøkelse – industriell byggemetodikk, Vestfold: Tønsbergprosjektet: 2015. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://tonsbergprosjektet.no/wp-content/uploads/2017/02/Markedsunders%C3%B8kelse-SIV.pdf>
3. Stensvold, Tore. Etterspørselen etter massivtre er eksplosiv, Oslo: Teknisk ukeblad media AS; 2017. Lest 11.05.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/ettersporselen-etter-massivtre-er-eksplosiv-na-seksdoble-de-produksjonen/404400>
4. Berg, Tore F. Industrialisering og systematisering av boligbyggproduksjon, Oslo: Byggekostnadsprogrammet nr. 14285: 2008. Lest 03.02.2020. Tilgjengelig fra: [https://www.sintefbok.no/book/index/81/industrialisering\\_og\\_systematisering\\_av\\_boligbyggproduksjon](https://www.sintefbok.no/book/index/81/industrialisering_og_systematisering_av_boligbyggproduksjon)
5. Almås Johan, Anders med flere. Modulbygg like godt som plassbygde løsninger, Oslo: SINTEF: 2014 lest 04.02.2020 tilgjengelig fra: <http://biblioteket.husbanken.no/arkiv/dok/Komp/Modulbygg%20like%20godt%20som%20plassbygde%20losninger.pdf>
6. Jaillon Lara og C.S. Poon. The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector (2009)
7. Frøstrup, Anders. Tømrerteori konstruksjoner i tre, 24-25, Gyldendal undervisning: 2012 lest 06.02.2020 tilgjengelig fra: <https://issuu.com/gyldendalnorskforlag/docs/tomrer/25>
8. Edvardsen og Ramstad, Trehus håndbok 5. Oslo: SINTEF akademisk forlag: 2014
9. Almås Johan, Anders. Modulbygg bedre enn sitt rykte, Oslo : SINTEF : 2016 lest 04.02.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/modulbygg-bedre-enn-sitt-rykte/>
10. Byggeindustrien. Mjøstårnet i Brumunddal, Oslo: 2019 lest 12.05.2020 tilgjengelig fra : <http://www.bygg.no/article/1388256?fbclid=IwAR12AH5MWg-1DV968th41GriXSaMERL-n6b3xVUIMPIj7HLE79qKBsBCems>
11. Norges arkitekters landsforbund, Treet i Bergen : 2016 lest 12.05.2020 tilgjengelig fra : <https://www.arkitektur.no/treet>
12. Videkke. Moholt 50|50 studentboliger, Trondheim | Massivtre, Trondheim lest 12.05.2020 tilgjengelig fra <http://veidekke.no/prosjekter/article19204.ece>
13. Hammer, M Ari og Ellevold, Lars. Oppstartsmanual for produksjon av bindingsverkselementer[bacheloroppgave]. NTNU : 2019 lest 07.02.2020 Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2610471>
14. Forskrift om bruk av kjøretøy (§5-6 og §5-10). Norge: Samferdselsdepartementet; 01.04.1990 (sist endret 16.03.2020).
15. Ahnfeldt, Philip og Celil, Sinan. Konstruktionsutformning av moduler i korslimmat trå [avhandling]. Växjö: Linnéuniversitetet; 2018
16. <https://electechcanada.com/2018/05/09/legoforadults-installingamodularstructure/> lest 15.03.2020
17. SINTEF Byggforsk 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler: august 2013 lest 10.03.2020 tilgjengelig fra : [https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster\\_for\\_bygningsmaterialer\\_byggevarer\\_og\\_bygningsdeler#i2](https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler#i2)

18. TU Bygg, Bygger høyere, raskere og billigere med massivtre: 2018 lest 10.03.2020 tilgjengelig fra : <https://www.tu.no/artikler/bygger-hoyere-raskere-og-billigere-med-massivtre-br/451131>
19. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 3 -dimensjonering, Oslo :Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-3-Dimensjonering.pdf>
20. Aarstad, Jarle. Knutepunktforbindelser i fleretasjes trehus, rapport 81, Oslo . Norsk treteknisk institutt: 2010, lest 16.03 tilgjengelig fra: <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/rapporter/Rapport-81.pdf>
21. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 2 -byggteknikk, Oslo :Norsk Treteknisk Institutt; 2006. lest 05.02.2020 tilgjengelig fra : <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-2-Byggeteknikk.pdf>
22. SINTEF Byggforsk 522.351 Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse: august 2011 lest 28.02.2020 tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/334/tre-bjelkelag\\_dimensjonering\\_og\\_utfoerelse#i22](https://www.byggforsk.no/dokument/334/tre-bjelkelag_dimensjonering_og_utfoerelse#i22)
23. SINTEF Byggforsk 522.891 Etasjeskillere i massivtre : november 2009 lest 28.02.2020 tilgjengelig fra : [https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891\\_eta-sjeskillere\\_i\\_massivtre\\_lest\\_28.02.2020](https://www.byggforsk.no/dokument/3367/522891_eta-sjeskillere_i_massivtre_lest_28.02.2020)
24. Optimera. Byggsystemer - Monteringsanvisning: Elementer småhus i tre. Lest 11.05.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.optimera.no/globalassets/byggsyste-mer/monteringsveiledning/byggsystemer-monteringsanvisning-elemen-ter.pdf/download>
25. Nordli, Jørgen. Bruk av moduler i boligprosjekter side 55 [masteroppgave]. NTNU : 2019 lest 10.02.2020 tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2632955>
26. KLH. Component catalogue for cross laminated timber structures <https://www.klh.at/wp-content/uploads/2019/09/klh-construction-en.pdf> , lest 12.05.2020
27. Steen-Hansen, Anne med flere. brann tekniske krav til materialer, Trondheim, SINTEF : 2008 17.02.2020 Tilgjengelig fra <https://docplayer.me/9992936-Forord-nbl-rapport-nbl-a08122-branntekniske-krav-til-materialer-offshore.html>
28. Friquin. Kathinka L. Trygt å bruke massivtre i bærekonstruksjoner, Trondheim: SINTEF:2020 lest 8.02.2020 Tilgjengelig fra <https://www.sintef.no/siste-nytt/trygt-a-bruke-massivtre-i-barekonstruksjoner/>
29. SINTEF Byggforsk 20.320 Brannteknisk klassifisering og dokumentasjon av bygningsdeler og byggeprodukter : september 2017 lest 17.02.2020 Tilgjengelig fra : [https://www.byggforsk.no/dokument/315/brannteknisk\\_klassifisering\\_og\\_dokumentasjon\\_av\\_bygningsdeler\\_og\\_byggeprodukter](https://www.byggforsk.no/dokument/315/brannteknisk_klassifisering_og_dokumentasjon_av_bygningsdeler_og_byggeprodukter)
30. Nina K. Reitan med flere, Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger, RISE Fire Research i samarebid med SINTEF : 2019 lest 10.03.2020 Tilgjengelig fra <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2019/20385brannsik-kerhet-ved-bruk-av-klr-rapport-9-2019.pdf>
31. Moleven, Branntrygt tre fra Moelven, trykkimpregnering av tre, Brumundal lest 06.02.2020 Tilgjengelig fra [https://www.moelven.com/globalassets/c4/522/docu-ments/43705\\_branntrygt-tre.pdf](https://www.moelven.com/globalassets/c4/522/docu-ments/43705_branntrygt-tre.pdf)
32. Gobakken, Ross Lone. Beskyttelse mot brann i boliger og offentlige bygg, ÅS: NIBIO lest 07.02.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/skog/bruk-av-tre/trebeskyttelse/brannbeskyttelse>
33. Norsk Massivtre. Brann, Bekkestua lest 07.02.2020 Tilgjengelig fra <https://norsk-massivtre.no/elementer/>

34. Wormdahl E.D med flere . Brannsikkerhet i bygg med massivtre – Litteraturstudium, SP Fire Research AS: 2016. lest 09.03.2020 Tilgjengelig fra [:https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/spfr-a16-20229-brannsikkerhet-i-bygg-med-massivtre\\_spfr-2017.pdf](https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/spfr-a16-20229-brannsikkerhet-i-bygg-med-massivtre_spfr-2017.pdf)
35. Aarstad, Jarle med flere. Fokus på tre-massivtre side 6, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006 lest 10.03.2020 Tilgjengelig fra <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf>
36. Glasø Ross, Marius og Husby, Erik Massivtre – et fullverdig alternativ til tradisjonell byggemetode? [bacheloroppgave], NTNU :2019 lest 04.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2610461>
37. Glasø, Geir. Fokus på tre-tre og lyd. Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2011 lest 25.02.2020 Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/36-Tre-og-lyd.pdf>
38. Aanensen, Preben. Bygge med massivtreelementer, hefte 5 - lyd, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2016. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-5-Lyd.pdf>
39. Building systems by Stora Enso: 3-8 Storey Modular Element Buildings: 2016 lest 20.02.2020 tilgjengelig fra : <https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-brochures/Wood-products/Design-Manual-A4-Modular-element-buildings20161227finalversion-40EN.pdf>
40. TreFokus, Lydvegger i massivtre : Oslo lest 31.03.2020 tilgjengelig fra <http://www.trefokus.no/proff/artikler/a-bygge-med-tre/byggesystemer-for-massivtre/lydvegg>
41. SINTEF Byggforsk 524.325 Lydisolasjon for innervegger av bindingsverk : april 2020 lest 01.03.2020 tilgjengelig fra : <https://www.byggforsk.no/dokument/2956/lydisolasjon-for-innervegger-av-bindingsverk>
42. SINTEF Byggforsk 520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall: desember 2013 lest 15.03.2020 tilgjengelig fra [520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall](https://www.byggforsk.no/dokument/520.401-Lufttetting-av-bygninger-Framgangsmate-for-a-oppna-lavt-lekkasjetall)
43. SINTEF Byggforsk 700.110 Byggskader.Oversikt: september 2010 lest 17.02.2020 tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/629/byggskader\\_oversikt](https://www.byggforsk.no/dokument/629/byggskader_oversikt)
44. Lisø, K. R. og Kvande, T. (2007) Klimapåkjenninger, i Rambæk, I (red.) Klimatilpasning av bygninger. 1. utgave. Oslo: SINTEF
45. Geving, S. og Thue, J. V. (2002) Fukt i bygninger. 1. utgave. Oslo: Norges byggforskningsinstitutt
46. Byggmesteren. Beskytt elementer av massivtre mot fukt i byggeperioden. Oslo : 2019. Lest 09.03.2020. Tilgjengelig fra: <https://byggmesteren.as/2019/09/25/beskytt-elementer-av-massivtre-mot-fukt-i-byggeperioden/>
47. Skogstad, Boye Hans med flere. Massivtre – Luftgjennomgang og behov for sperresjikt, s.11, Oslo: SINTEF: 2011. Lest 21.02.2020. Tilgjengelig fra <https://www.sintefbok.no/book/index/903/massivtre-luftgjennomgang-og-behov-for-sperresjikt>
48. Kunøe, Christopher. Massivtre slo bindingsverk og gips. Oslo: Byggmesteren; 2017. Lest 09.03.2020. Tilgjengelig fra: <https://byggmesteren.as/2017/09/25/massivtre-slo-bindingsverk-gips/?fbclid=IwAR0cdUu1KzxyHLfmwYC3fcBL-TyOTUP5GV2EQWsb49f3i84si9LvFQZ0lfeA>
49. SINTEF. Unngå skadedyr i bygninger. SINTEF: 2019 Lest 17.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/unnga-skadedyr-i-bygninger/>
50. Geving, Stig. Alternative dampsperrer med uttørkingsmulighet innover?, Oslo, SINTEF Byggforsk: 2010. Lest 18.02.2020. Tilgjengelig fra: [http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2010/08\\_Geving.pdf](http://www.bygningsfysikk.no/NorskBygningsfysikkdag2010/08_Geving.pdf)



51. Stora Enso. CLT by Stora Enso: Technical Brochure. Stora Enso: 2017. Lest 19.02.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf>
52. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 1s. 22 -generelt, Oslo :Norsk Treteknisk Institutt; 2006. lest 05.02.2020 tilgjengelig fra : <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>
53. SINTEF Byggforsk 471.008 Beregning av U-verdier: september 2018 lest 15.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning-av-u-verdier-etter-ns-en-iso-6946>
54. SINTEF Byggforsk 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer:vår 2003 lest 15.03.2020 Tilgjengelig fra : <https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet-og-varmemotstand-for-bygningsmaterialer>
55. Bjelland, Anne Sofie, type Kuldebroer. Høgskolen i Bergen : 2013 lest 15.03.2020 Tilgjengelig fra : [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00162/Helt\\_konkret-Kulde\\_162339a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00162/Helt_konkret-Kulde_162339a.pdf)
56. SINTEF Byggforsk 472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdisert: oktober 2019 lest 16.03.2020 Tilgjengelig fra : <https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer-typer-konsekvenser-og-bruk-av-normalisert-kuldebroverdi>
57. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 1 -generelt, Oslo :Norsk Treteknisk Institutt; 2006. lest 12.03.2020 tilgjengelig fra : <http://www.tretek-nisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>
58. Global Construction Perspectives/Oxford Economics. (2013). Global Construction 2025 - A global forecast for the construction industri to 2025. Global Construction Perspectives and Oxford Economics
59. Treindustriens, lille grønn 2009 lest 12.03.2020 Tilgjengelig fra: <http://www.treindustrien.no/resources/Trerindustriens-lille-gronne.pdf>
60. [4] Treindustrien, Bruk av tre har flere miljømessige fordeler lest 12.03.2020 Tilgjengelig fra: <http://www.treindustrien.no/miljo>
61. Wigenstad, Tore og Nesje, Arne. Bruk av massivtre i bygninger : miljøegenskaper og energibruk punkt 3.2 , Trondheim, SINTEF: 2005 lest 17.03.2020
62. Dragland, Åse. Langs kysten står verdifull skog og råtner. Samtidig importerer Norge trelast, TU: 2014 lest 14.03 tilgjengelig fra : <https://www.tu.no/artikler/langs-kysten-star-verdifull-skog-og-ratner-samtidig-importerer-norge-trelast/230744> lest 14.03
63. Anders Q. Nyrud. Helseeffekter fra trebruk – erfaringer fra Norge,Ås: NMBU: 2019 lest 6.03.2020 Tilgjengelig fra : <https://www.fylkesmannen.no/contentassets/ee9d45a5b3d744a691c9b4b4e0ee06f2/anders-qvale-nyrud.pdf>
64. Fell, David Robert. WOOD IN THE HUMAN ENVIRONMENT: RESTORATIVE PROPERTIES OF WOOD IN THE BUILT INDOOR ENVIRONMENT [avhandling]. Vancouver: The University of British Columbia; 2010 Tilgjengelig fra: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0071305>
65. Splitkon: 2020 Se vedlagte e-poster
66. GLAVA® PLUSS SYSTEM MONTERINGSANVISNING, Glava AS lest 28.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://media.glava.net/mediabank/store/10779/Monteringsanvisning-GLAVA-Pluss-System.pdf>
67. Timbertools method, X-fix Wood-Wood Connector lest 03.04.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.timbertools.com/X-fix-Wood-Wood-Connector/>

68. HASSLACHER NORICA, X-FIX | THE TIMBER-TO-TIMBER CONNECTION SYSTEM lest 04.04.2020 Tilgjengelig fra: [https://www.hasslacher.com/data/dateimanager/broschuere/HNT\\_News\\_XFix\\_EN\\_WEB.pdf](https://www.hasslacher.com/data/dateimanager/broschuere/HNT_News_XFix_EN_WEB.pdf)
69. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 1 - generelt, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf>
70. SINTEF. Unngå skadekonstruksjoner i massivtre, SINTEF: 2017 lest 17.03.2020 Tilgjengelig fra: [SINTEF - Unngå skadekonstruksjoner i massivtre](#)
71. Berg, Tore F. Industrialisering og systematisering av boligbyggproduksjon, Oslo: Byggekostnadsprogrammet nr. 14285: 2008. Lest 03.02.2020. Tilgjengelig fra: [https://www.sintefbok.no/book/index/81/industrialisering\\_og\\_systematisering\\_av\\_boligbyggproduksjon](https://www.sintefbok.no/book/index/81/industrialisering_og_systematisering_av_boligbyggproduksjon)
72. Daler, Runar. Mjøstårnet vant arkitekturpris i New York: 2018 lest 12.05.2020 tilgjengelig fra: <https://anleggsmaskinen.no/2018/12/mjostarnet-vant-arkitekturpris-i-new-york/>
73. Seehusen, Joachim. Bergen får verdens høyeste treb, TU Bygg : 2013 lest 12.05.2020 tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/bergen-far-verdens-hoyeste-trebygg/232607>
74. Skanska Husfabrikken, Befaring, Steinskjer: 2020 bilde: Abdullah Habibi
75. Steen-Hansen, Anne med flere. brann tekniske krav til materialer, Trondheim, SINTEF : 2008 17.02.2020 tilgjengelig fra <https://docplayer.me/9992936-Forord-nbl-rapport-nbl-a08122-branntekniske-krav-til-materialer-offshore.html>
76. Skanska element og modulbygg, oppbygging av en standard yttervegg med brannmotstand REI 60, SINTEF Certification lest 12.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.sintefcertification.no/Proprietor/Index/195>
77. Moelven Modul, oppbygging av en etasjeskiller på tvers av modulene med brannmotstand REI 60, SINTEF Certification lest 12.03.2020 tilgjengelig fra: <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/213>
78. Kodumaja trehusmoduler, oppbygging av en vegg mot nabo modul med brannmotstand REI 60, SINTEF Certification lest 12.03.2020 tilgjengelig fra : <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/1660>
79. Asheim E. Bygge med massivtreelementer, hefte 4- brann, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt; 2006. Lest 05.02.2020. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-4-Brann.pdf>
80. Nina K. Reitan med flere, Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger, RISE Fire Research i samarebid med SINTEF : 2019 lest 10.03.2020 Tilgjengelig fra <https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2019/20385brannsikkerhet-ved-bruk-av-klr-rapport-9-2019.pdf>
81. TreFokus, Lydvegger i massivtre : Oslo lest 31.03.2020 tilgjengelig fra <http://www.trefokus.no/proff/artikler/a-bygge-med-tre/byggesystemer-for-massivtre/lydvegg>
82. Vastint Hospitality byggesystem, oppbygging av en yttervegg i massivtre med påliggende mineralull som har en brannmotstand REI 90, SINTEF Certification lest 12.03.2020 tilgjengelig fra: <https://www.sintefcertification.no/Product/Index/3342>
83. SINTEF Byggforsk 471.008 Beregning av U-verdier: september 2018 lest 15.03.2020 Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning\\_av\\_u-verdier\\_etter\\_ns-en\\_iso\\_6946](https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946)
84. SINTEF Byggforsk 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer: vår 2003 lest 15.03.2020 Tilgjengelig fra : [https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet\\_og\\_varmemotstand\\_for\\_bygningsmaterialer](https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer)

85. Bjelland, Anne Sofie, type Kuldebroer. Høgskolen i Bergen : 2013 lest 15.03.2020 Tilgjengelig fra : [https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00162/Helt\\_konkret- Kulde\\_162339a.pdf](https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00162/Helt_konkret- Kulde_162339a.pdf)
86. SINTEF Byggforsk 472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdisert: oktober 2019 lest 16.03.2020 Tilgjengelig fra : [https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer\\_typer\\_konsekvenser\\_og\\_bruk\\_av\\_normalisert\\_kuldebroverdi](https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi)
87. SINTEF Byggforsk 471.421 U-verdier. Vegger over terreng – massivtre: desember 2013 lest 16.03.2020 tilgjengelig fra [https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier\\_vegger\\_over\\_terreng\\_massivtre](https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier_vegger_over_terreng_massivtre)
88. SINTEF Byggforsk 71.401 U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere : desember 2012 lest 16.03.2020 tilgjengelig fra : [https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier\\_vegger\\_over\\_terreng\\_med\\_bindingsverk\\_av\\_tre\\_med\\_gjennomgaaende\\_stendere](https://www.byggforsk.no/dokument/4045/u-verdier_vegger_over_terreng_med_bindingsverk_av_tre_med_gjennomgaaende_stendere)
89. Splitkon AS, MED MILJØ I FOKUS, Treets livsløp, Modum. Lest 12.03.2020 tilgjengelig fra: <https://splitkon.no/miljoe/>
90. Glava produkter, Pluss stender 1 og 2 lest 30.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/bygg/produkter/fasadesystemer/glava-pluss-system/glava-pluss-stender-1/>
91. Stavanger brannsikring AS. Branntrekanten. Hvordan Oppstår en brann? Stavanger: 2017 lest 17.02.2020 tilgjengelig fra: <https://stavangerbrannsikring.no/aktuelt/2015/6/21/tips-og-rd-om-brannsikkerhet>
92. Optimera, MONTERINGS- ANVISNING ELEMENTER SMÅHUS I TRE, Lest 16.03.2020 Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/15405700-Monterings-anvisning-elementer-smahus-i-tre.html>
93. Rothoblaas, Handbook for CLT buildings. Lest 12.05.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.rothoblaas.com/catalogues/10-handbook-for-clt?action=download&lang=en>
94. NBI Massive treelementer, lest 25.03.2020. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/26306469-Nbi-massive-treelementer-typer-og-bruksomrader-side-8-etasjeskiller-med-gitter-drager-i-tre-sintef-godkjenning-side-24.html>
95. SINTEF Byggforsk, 524.325 Lydisolasjon for innervegger av bindingsverk. Lest 25.03.2020. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/2956/lydisolasjon\\_for\\_innervegger\\_av\\_bindingsverk#tab84b](https://www.byggforsk.no/dokument/2956/lydisolasjon_for_innervegger_av_bindingsverk#tab84b)
96. SINTEF Byggforsk, 524.321 Lydisolasjon for massive innervegger. Lest 25.03.2020. Tilgjengelig frå: [https://www.byggforsk.no/dokument/378/lydisolasjon\\_for\\_massive\\_innervegger#tab76](https://www.byggforsk.no/dokument/378/lydisolasjon_for_massive_innervegger#tab76)
97. DiBK. Moholt 50|50 Trondheim. <https://dibk.no/statens-pris-for-byggkvalitet/nominerte-2018/nominerte-nummer-1/> 15.05.2020
98. Brekkhus, Arve. Oslo: Byggmesteren; 2017. Lest 10.02.2020. Tilgjengelig frå: <http://www.bygg.no/article/1377751>
99. NS8175:2019: Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper. Lest 15.05.2020. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1045700>

## 9. Figurliste

Figur 1 – Kantstilt element, hulromselement og krysslågt element (69) .....	2
Figur 2 – Krysslågte elementer kjennetegnes ved at planker legges på kryss og [...] (70) .....	2
Figur 3 – Mjøstårnet (72).....	7
Figur 4 – Treet (74) .....	8
Figur 5 – Moholt 50 50 (97) .....	8
Figur 6 – Element- og modulproduksjon fra befaring hos Skanska Husfabrikken AS (74) ...	11
Figur 7 – Heising av modul på byggeplass (16).....	13
Figur 8 – Forankring av stenderverk (92) .....	17
Figur 9 – Forankring av et massivtre-veggelement (93) .....	17
Figur 10 – De ulike brannfasene (75); Branntrekanten, som viser hva som er [...] (91).....	18
Figur 11 – Prinsipiell oppbygging av en standard yttervegg med utvendig [...] (76).....	22
Figur 12 – Oppbygging av etasjeskiller med brannmotstand REI 60 (77) .....	23
Figur 13 – Oppbygging av en branncellebegrensende innervegg med [...] (78) .....	23
Figur 14 – De ulike lagene i massivtre som blir utsatt for ensidig brann (79).....	26
Figur 15 – Kritiske detaljer hvor det er særlig viktig med god branntetting (80).....	27
Figur 16 – Branntesting av massivtreelement. Elementet oppfyller REI 90 (79) .....	27
Figur 17 – En 100 mm tykk massivtrevegg med 5 sjikt vil oppfylle [...] (81).....	28
Figur 18 – Yttervegg av massivtre med utenpåliggende mineralull som har [...] (82) .....	28
Figur 19 – Branncellebegrensende innervegg av massivtre med brannmotstand [...] (82) ...	28
Figur 20 – Fordeling av skadekilder i forbindelse med fukt (43).....	41
Figur 21 – Ulike sammenføringer av veggelementer av massivtre (21).....	46
Figur 22 – U-verdi (83) .....	48
Figur 23 – Varmekonduktivitet /varmeledningsevne, $\lambda$ (84); Ulike typer kuldebroer (85).....	49
Figur 24 – Eksempler på tilslutninger hvor det ofte oppstår kuldebroer (86) .....	50
Figur 25 – Oppbygging av en yttervegg av massivtre med utvending påfôret [...] (87) .....	51
Figur 26 – Oppbygging av vegg med isolert bindingsverk av tre med [...] (88).....	53
Figur 27 – Treets livsløp (89) .....	55
Figur 28 – Energisyklus for 1 kubikkmeter trelast (60) .....	56
Figur 29 – Elektriske føringer kan skjules på mange måter i massivtreelementer (21) .....	61
Figur 30 – Bildet viser en luftlekkasje ved lysbryter (42). Det er ikke brukt påfôret [...].....	63
Figur 31 – Tidsbesparelse med industriell byggemetodikk (2) .....	64
Figur 32 – De to stendertypene i GPS-systemet (80) .....	71
Figur 33 – GPS-plate i henholdsvis pakek og ferdig montert på yttervegg av massivtre (66) 72	72
Figur 34 – Montering av GPS på bindingsverk-vegg (66) .....	73
Figur 35 – Montering av GPS-system på massivtrevegg (66).....	74
Figur 36 – Monteringsanvisning for X-fix L (67) .....	75

## **10. Vedleggsliste**

- 1 Artikkel**
- 2 Plakat**
- 3 Forslag til massivtremoduler**
- 4 E-poster fra Splitkon**