



# Høgskulen på Vestlandet

## Master Thesis (ING5002)

ING5002-MOPPG-2021-VÅR-FLOWassign

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	30-03-2021 09:00	<b>Termin:</b>	2021 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	01-06-2021 14:00	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Masteroppgave		
<b>Flowkode:</b>	203 ING5002 1 MOPPG 2021 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	(Anonymisert)		

### Deltaker

<b>Kandidatnr.:</b>	101
---------------------	-----

### Informasjon fra deltaker

<b>Tittel *:</b>	Overflatebehandling av krysslaminert tre, en eksperimentell studie
<b>Antall ord *:</b>	17834
<b>Engelsk tittel *:</b>	Surface treatment of crosslaminated timber, an experimental study

Sett hake dersom Ja  
besvarelsen kan brukes  
som eksempel i  
undervisning? Nei

Egenerklæring \*: Ja  
Inneholder besvarelsen Nei  
konfidensielt  
materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja  
registrert  
oppgavetittelen på  
norsk og engelsk i  
StudentWeb og vet at  
denne vil stå på  
vitnemålet mitt \*:

Jeg godkjenner avtalen om publisering av masteroppgaven min \*

Ja

**Er masteroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? \***

Ja,  
BUILDER

**Er masteroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? \***

Ja, Sweco as

# **Overflatebehandling av krysslaminert tre**

**en eksperimentell studie**

## **Surface treatment of crosslaminated timber**

**an experimental study**



**Bjørn Røste Dalen**

Høgskulen på Vestlandet  
Fakultet for ingeniør- og naturvitskap  
Institutt for sikkerheit, kjemi- og bioingeniørfag

**Masteroppgave i Brannsikkerhet**

Haugesund  
31. mai 2021





Høgskulen  
på Vestlandet

# Overflatebehandling av krysslaminert tre en eksperimentelt studie

## Masteroppgave i Brannsikkerhet

Forfatter:  
Bjørn Røste Dalen

Forfatter sign.

*Bjørn Dalen*

Oppgaven uttatt:

Høst/Vår 2021

Open oppgave

Veileder: Bjarne Christian Hagen og Vidar Frette

Ekstern veileder: Håkon Omdal Laskemoen og Leif Tore Isaksen

Stikk ord:  
Krysslaminert tre  
Overflatebehandling  
KLT  
CLT  
1/3 ISO-rom

Antall sider: 85

+

Vedlegg: 2 (5 sider)

Haugesund, 01/06, 2021

Sted/Dato/År

Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet. Studenten(e) står selv ansvarlig for metodene som er anvendt, resultatene som er fremkommet og konklusjoner og vurderinger i arbeidet.

---

# *Forord*

*Denne oppgaven er den avsluttende oppgaven i en toårig master i brannsikkerhet ved HVL-Haugesund. Dette er min første eksperimentelle oppgave, noe som har ført til en bratt læringskurve, men det har vært spennende å sette opp og tenke ut hvordan eksperimentene skulle gjennomføres på best mulig måte.*

*Oppgaven ble startet og avsluttet i midten av en global pandemi, noe som har ført til en rekke logistikk-problemer, og det har til tider vært vanskelig å finne motivasjon på hjemmekontoret. Men til tross for pandemien har det vært et stort engasjement fra flere støttespillere, som det foruten ikke hadde vært mulig å fullføre oppgaven. Jeg vil derfor gi en stor takk til følgende:*

*Mine interne veiledere ved HVL, Bjarte Christian Hagen og Vidar Frette, for å ha kommet med fantastiske innspill og veiledning som jeg ikke kunne vært foruten.*

*RESQ-sikkerhetscenter for å ha stilt med lokaler for gjennomføring av forsøkene*

*Magne Laumark-Møller Varbø, Sara Louise Einarsdottir, Arjen Kraaijeveld og Dheeraj Dilip Karyaparambil, for å ha hjulpet med bygging, oppsett og gjennomføring av forsøkene*

*Leif Tore Isaksen og Håkon Omdal Laskemoen ved Sweco as for å ha kommet med ideen til oppgaven og for god rådgivning som ga meg en bra start på oppgaven.*

*Splitkon og Kristine Nore for å ha stilt med massivtre.*

*Bjørnar Sander Nilsen ved Martic as for å ha stilt med materialer for gjennomføring av forsøkene.*

*Firesafe as for å ha stilt med materialer*

*Tusen takk til dere alle, uten dere ville denne oppgaven ikke vært mulig!*

---



# Abstract

An increasing focus on the use of environmental-friendly materials has made Cross Laminated Timber (CLT) an attractive choice. Norway is one of the leading countries as for building with wood and has to this date both the world's tallest and the world's second tallest wooden building. With this increased focus follows an increased interest in learning as much as possible about the materials' properties and how safe they are in use. Since CLT is a relatively new material, there are several knowledge gaps that need to be filled. This thesis considers the use of surface treatment of CLT, through scrutinizing previous studies and by performing experiments on treated and untreated CLT.

Experiments have been performed on 21 samples through 4 experiments. Both untreated samples of 5 and 3-layer CLT have been tested, samples of 5-layer CLT treated with white fire-resistant paint, 3-layer CLT treated with a clear fire-resistant paint and solid wood samples of pine treated with pressure impregnation. The tests were performed in a 1/3 ISO room, the heat source was a gas burner supplied with propane gas to achieve temperatures equal to or higher than a standard ISO fire curve.

Through the tests, charring depth, mass loss, internal temperature in the samples (using thermocouples drilled into the samples) and fire room temperature have been investigated. This is done by pairwise comparison of untreated and treated samples of CLT. In the pairs compared, there has been significantly greater charring depth in all the untreated samples compared to the treated samples. The mass loss was between 9 and 22 % larger for the untreated samples versus the treated ones. For the samples' internal temperatures, there was only a small difference in the temperatures until after the burner is switched off, but the temperature continued to rise in several of the untreated samples. The temperature rose to a level indicating smouldering fire in seven of the eight untreated samples, while signs of smouldering fire were assessed in only one of eight of the treated samples.

For the samples treated with pressure impregnation, charring was detected similarly as in the treated samples, but with somewhat higher mass loss. The measured internal temperatures were significantly lower at the time the burner was switched off than for the samples of CLT, for the pressure impregnated samples the temperature at 20 min (when the burner was turned off) averaged 29 °C compared with 84 °C for the CLT samples. The samples treated by pressure impregnation had a long temperature increase after the burner was turned off, but since the maximum temperature was under 100 °C, and since this was in the lower range of maximum temperatures considering all the samples, it was concluded that the samples showed no signs of smoldering fire despite the temperature rise after the burner was switched off.

The results of this thesis show that surface treatment has an effect, especially when it comes to the danger of smoldering fires. Further investigations are required to determine when and if it is necessary with both surface treatment and sprinkler systems.





# Sammendrag

Et økende fokus på bruk av miljøvennlige materialer har gjort Kryss-Laminert Tre (KLT) til et attraktivt valg. Norge er et av de ledende landene når det kommer til å bygge med tre og har i dag både verdens høyeste og verdens nest høyeste trehus. Med økende fokus kommer også økt interesse for å lære mest mulig om materialenes egenskaper og hvor sikre de er å bruke. Siden KLT er et relativt nytt materiale, er det flere kunnskapshull som må tettes. Denne oppgaven ser på overflatebehandling av KLT, ved å undersøke tidligere studier og utføre forsøk på behandlet og ubehandlet KLT.

Det er utført forsøk på 21 teststykker gjennom 4 brann-forsøk. Det er testet både ubehandlede teststykker av 5 og 3-lag KLT, 5-lags KLT behandlet med hvit brannmaling, 3-lags KLT behandlet med en klar brannmaling og heltre stykke av furu behandlet ved trykkimpregnering. Testene ble utført i et 1/3 ISO rom, varmekilden var en gassbrenner forsynt med propangass for å oppnå temperaturer lik eller høyere enn en standard ISO-brannkurve.

Gjennom testene er det undersøkt forkullingsdybde, massetap, innvendig temperatur i teststykkene (ved bruk av termoelementer boret inn i teststykkene) samt temperaturen i brannrommet. Dette er gjort ved parvis sammenligning av ubehandlede og behandlede teststykker av KLT. I parene som er sammenlignet har det vært signifikant større forkullingsdybde i samtlige av de ubehandlede teststykkene sammenlignet med de behandlede teststykkene. Massetapet var mellom 9 og 22 % større for de ubehandlede teststykkene kontra de behandlede teststykkene. For temperaturene inni teststykkene var det lite forskjell i temperaturene frem til etter brenneren blir slått av, men temperaturen fortsatte å stige i flere av de ubehandlede teststykkene. Temperaturen steg til et nivå som indikerte tegn til begynnende eller tydelig tegn til ulmebrann i syv av åtte av de ubehandlede teststykkene, mens det ble funnet tegn til ulmebrann i en bare ett av åtte av de behandlede teststykkene.

For teststykkene behandlet med trykkimpregnering var det oppdaget forkulling på lik linje med de behandlede teststykkene, men med noe høyere massetap. De målte temperaturene inni teststykkene var signifikant lavere ved tiden brenneren ble slått av enn for teststykkene av KLT. For de trykkimpregnerte teststykkene var temperaturen ved 20 min (da brenner ble skrudd av) gjennomsnittlig 29 °C mot 84 °C for teststykke av KLT. Teststykkene behandlet ved trykkimpregnering hadde en lang jevn temperaturøkning etter at brenneren ble skrudd av, men siden maks temperaturen var under 100 °C, og med dette var i det lavere sjiktet av maks temperaturer når man ser på alle teststykkene, ble det konkludert at teststykkene ikke viste tegn til ulmebrann til tross for temperaturstigning etter at brenneren var slått av.

Resultatene i denne oppgaven viser at overflatebehandling har en effekt, spesielt når det kommer til faren for ulmebrann. Videre undersøkinger kreves for å avgjøre når og om det er nødvendig med både overflatebehandling og sprinklersystemer.



# Innhold

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>v</b>
<b>Innhold</b>	<b>viii</b>
<b>Tabeller</b>	<b>ix</b>
<b>Figurer</b>	<b>xi</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>xii</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Problemstilling . . . . .	1
1.3 Begrensninger . . . . .	2
1.4 Oppgavens oppbygning . . . . .	2
<b>2 Teori og litteratur</b>	<b>3</b>
2.1 Massivtre . . . . .	3
2.1.1 Hva er massivtre? . . . . .	3
2.1.2 Liming av massivtre . . . . .	6
2.1.3 Kort historie om KLT . . . . .	7
2.1.4 Fordeler og ulemper med massivtre . . . . .	7
2.2 Regelverk . . . . .	8
2.2.1 Byggteknisk forskrift . . . . .	8
2.3 Brann i tre . . . . .	12
2.3.1 Generelt . . . . .	12
2.3.2 Forkulling og delaminering . . . . .	12
2.3.3 Energibidrag fra tre . . . . .	18
2.4 Branntesting av materialer . . . . .	18
2.5 Tidligere studier gjort på bruk av massivtre med tanke på brannsikkerhet . . . . .	19
2.5.1 Rapport - Fullstendig brannforløp i limtrekonstruksjoner . . . . .	19
2.5.2 Litteraturstudier på KLT . . . . .	19
2.5.3 Effects of exposed cross laminated timber on compartment fire dynamics - Fire safety journal . . . . .	22
2.5.4 Gjennomføringer i massivtre utført av Polyseam , med svar fra Sintef (Ar- tikler) . . . . .	23
<b>3 Eksperimentelt oppsett</b>	<b>25</b>
3.1 Brannrom (1/3 ISO-rom) . . . . .	25
3.1.1 Byggematerialer for brannrommet . . . . .	26
3.1.2 Bygging av brannrom . . . . .	26

3.2	Materialevalg for forsøkene . . . . .	29
3.2.1	Spesifikasjoner teststykker . . . . .	29
3.2.2	Typer overflatebehandling . . . . .	29
3.3	Plassering av sensorer og teststykker . . . . .	31
3.3.1	Teststykker . . . . .	31
3.3.2	Sensorer . . . . .	32
3.4	Oppbygging av forsøkene . . . . .	34
3.5	Gjennomføring av forsøkene og målinger . . . . .	35
3.5.1	Del 1: Forberedelser . . . . .	35
3.5.2	Del 2: Utførelse . . . . .	36
3.5.3	Etterarbeid . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Resultater</b>	<b>41</b>
4.1	Nummerering av forsøk . . . . .	41
4.2	Forkullingsdybde . . . . .	42
4.3	Massetap . . . . .	43
4.4	Temperaturer . . . . .	44
4.4.1	Temperatur i brannrom . . . . .	45
4.4.2	Temperatur inni teststykkene . . . . .	47
4.4.3	Forsøk 3 ("spesialforsøk") . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>51</b>
5.1	Forkullingsdybde . . . . .	51
5.2	Massetap . . . . .	55
5.3	Temperaturer . . . . .	56
5.3.1	Temperatur i brannrommet . . . . .	56
5.3.2	Innvendig temperatur i prøvestykkene . . . . .	57
5.3.3	Delaminering . . . . .	60
5.4	Vurdering av norske krav . . . . .	60
<b>6</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Videre arbeid</b>	<b>65</b>
	<b>Bibilografi</b>	<b>66</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>71</b>
<b>A</b>	<b>Ytelseserklæring (DOP) for KLT fra Splitkon</b>	<b>71</b>
<b>B</b>	<b>Kildeliste litteraturstudier</b>	<b>73</b>
B.1	Studier gjennomgått i litteraturstudiet: The contribution of CLT to compartment fires	73
B.2	Studier gjennomgått i litteraturstudiet: Brannsikkerhet i bygg med massivtre . . . . .	74
B.3	Studier gjennomgått i litteraturstudiet: Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger . . . . .	74

# Tabeller

2.1	Risikoklasser . . . . .	9
2.2	Brannklasser . . . . .	9
2.3	Brannklasser etter antall etasjer . . . . .	10
2.4	Preakseptert ytelseskrav til overflater . . . . .	10
3.1	Mengde hvit brannmaling . . . . .	30
3.2	Oppsummering av informasjon om teststykkene . . . . .	34
3.3	Oversikt logging . . . . .	37
4.1	Resultater forkullingsdybde . . . . .	42
4.2	Resultater massetap . . . . .	44
5.1	Max brannromtemperatur . . . . .	56
5.2	Prosentvis stigning i innvendig temperatur etter avstengt brenner . . . . .	58



# Figurer

2.1	Hulromselement . . . . .	3
2.2	Kantstilte elementer . . . . .	4
2.3	Krysslagte elementer . . . . .	4
2.4	Forskjellige antall lag og leggemetoder av lag i KLT [8] . . . . .	5
2.5	Skjematisk fremstilling av limtreproduksjon . . . . .	6
2.6	Bilde av forkullingsdybde . . . . .	12
2.7	Endimensjonal og teoretisk forkullingsdybde . . . . .	13
2.8	Forkullings faser uten delaminering . . . . .	15
2.9	Forkullings faser med delaminering . . . . .	17
2.10	Tid/temperaturkurve for en ISO834 brann . . . . .	18
3.1	1/3 ISO-Rom . . . . .	25
3.2	Bilde av gulvet til brannrommet . . . . .	26
3.3	Bilde av bakvegg og sidevegg . . . . .	27
3.4	Bilde av Gasbrenner og oppkobling av slange for gasstilførsel til brenner . . . . .	27
3.5	Bilde av frontvegg med og uten gipsplater . . . . .	28
3.6	Bilde av isolasjon og takplate med veker . . . . .	28
3.7	Plassering av teststykker (Illustrasjon) . . . . .	31
3.8	Lamellretning (Illustrasjon) . . . . .	32
3.9	Plassering av sensorer (Illustrasjon) . . . . .	33
3.10	Oppsett uten tak . . . . .	35
3.11	Brannrom med tak og ekstra vekt på taket . . . . .	36
3.12	Bilder tatt under forsøkene, viser full overtenning av rommet . . . . .	37
3.13	Veiing av teststykke etter forsøk . . . . .	38
3.14	Måling av forkullingsdybde . . . . .	38
3.15	Illustrasjon tverrsnitt og forkullingsdybde . . . . .	39
4.1	Gjennomforkullet teststykke . . . . .	43
4.2	Brannromtemperatur sortert etter forsøk . . . . .	45
4.3	Brannromtemperatur sortert etter termoelement . . . . .	46
4.4	Innvendig temperatur i teststykkene . . . . .	48
4.5	Innvendig temperatur forsøk 3 . . . . .	49
5.1	Lamell retning . . . . .	51
5.2	Hjørne vs. midt, forkulling illustrasjon . . . . .	52
5.3	Forkullingsdybde tverrsnitt 1 . . . . .	53
5.4	Forkullingsdybde tverrsnitt 2 . . . . .	54
5.5	Prosentvis massetap . . . . .	55
5.6	Forskjell i romtemperatur behandlet og ubehandlet side . . . . .	57
5.7	Innvendig temperatur etter 20 minutter . . . . .	58



---

## **Forkortelser**

**CLT** Cross Laminated Timber.

**ICLT** Interlocking Cross Laminated Timber.

**KLT** Kryss-Laminert Tre.

**MFU** melamin-urea-formaldehyd.

### 1.1 Bakgrunn

I Norge har det lenge vært tradisjon å bygge i tre, det er funnet laftehus som kan dateres til 900-tallet og det blir antatt at lafteteknikken først ble tatt i bruk rundt 800-tallet [5]. Ettersom det i nyere tid bygges i større skala, både i høyde og bredde, så har materialer som betong og stål stått for mye av konstruksjonene. Men i de siste årene har Kryss-Laminert Tre (KLT), eller massivtre som det også blir kalt, gjort et stort inntog i bygg og arkitektbransjen verden over. Norge ligger i dag i fronten med "Mjøsåtårnet" i Hamar, som da det sto ferdig i 2019 tok over for "Treet" i Bergen som verdens høyeste trehus. I tillegg er det en rekke andre bygninger som er med på å gjøre Norge til en av de ledende aktørene når det gjelder å bygge i KLT, noen eksempler er "Moholt 5050" i Trondheim, "Valle Wood" i Oslo, "Pentagon" på Ås og "Finansparken" i Stavanger alle store bygg i massivtre [23].

Den økende interessen for massivtre skyldes et stadig økende fokus på bruk av miljøvennlige materialer. Det er mindre CO<sub>2</sub>-krevende og gir derfor et mindre miljøfotavtrykk når en bruker massivtre kontra betong og stål. I tillegg er det en rekke studier som dokumentere positive effekter med tanke på luftkvalitet, inneklima og andre helsegevinster ved bruk av eksponert treverk i bygg [25].

Med en økende interesse og stadig større bygninger i massivtre blir det mer og mer relevant å se på brannsikkerheten rundt bruken av slike materialer.

### 1.2 Problemstilling

Våren 2020 skrev Helene Nærum Narmoe og Amalie Olsen bacheloroppgaven: Alle gode ting er massivtre! Personikkerhet i RKL 6-bygg med overflater av massivtre [26]. Denne masteroppgaven ønsker å videreføre arbeidet til Narmoe og Olsen, ved å utføre forsøk og undersøke bruken av overflatebehandling på massivtre.

#### **Følgende problemstilling undersøkes:**

I denne oppgaven skal overflatebehandling undersøkes, da spesifikk med tanke på overflatebehandling av massivtre. Massivtre som er overflatebehandlet skal sammenlignes med massivtre som ikke er overflatebehandlet for å se om det er signifikante forskjeller i resultatene. Det skal utføres forsøk for å undersøke disse forskjellene. I tillegg er det ønsket å ha med en innovativ del med tanke på ulike typer overflatebehandling. Oppgaven er en eksperimentell oppgave som er designet for å fremme videre forskning på sikker bruk av KLT i bygginger, da både overflatebehandlet og ubehandlet eller eksponert treverk.

### 1.3 Begrensninger

- Testene utført på KLT er bare utført på 5- og 3-lags KLT.
- Det blir ikke utført noen fullskala tester da dette er for dyrt og tidkrevende for en slik oppgave.
- Testing av nyutviklet brannimpregnering er ikke utført på KLT men på teststykke av furu.
- Det er ikke last på teststykkene under forsøkene, derfor kan ikke bæreevnen (R).
- Ingen tester er utført med sprinklersystem.

### 1.4 Oppgavens oppbygning

Denne oppgaven har i tre deler.

Del 1 består av kapittel 1 som er en introduksjon til oppgaven og kapittel 2 som er relevant teori til oppgaven.

Del 2 er den eksperimentelle delen av oppgaven og består av kapittel 3 som er oppsettet til eksperimentene og kapittel 4 som er resultatene fra eksperimentene.

Del 3 består av de gjenværende 3 kapitlene som består av kapittel 5 diskusjon, kapittel 6 konklusjon og kapittel 7 videre arbeid. Kapittel 5 diskuterer resultatene fra forsøkene opp mot relevant teori, kapittel 6 konkluderer funnene fra forsøkene og teorien og kapittel 7 foreslår forsøk eller studier som kan videreutvikle funnene i denne oppgaven.

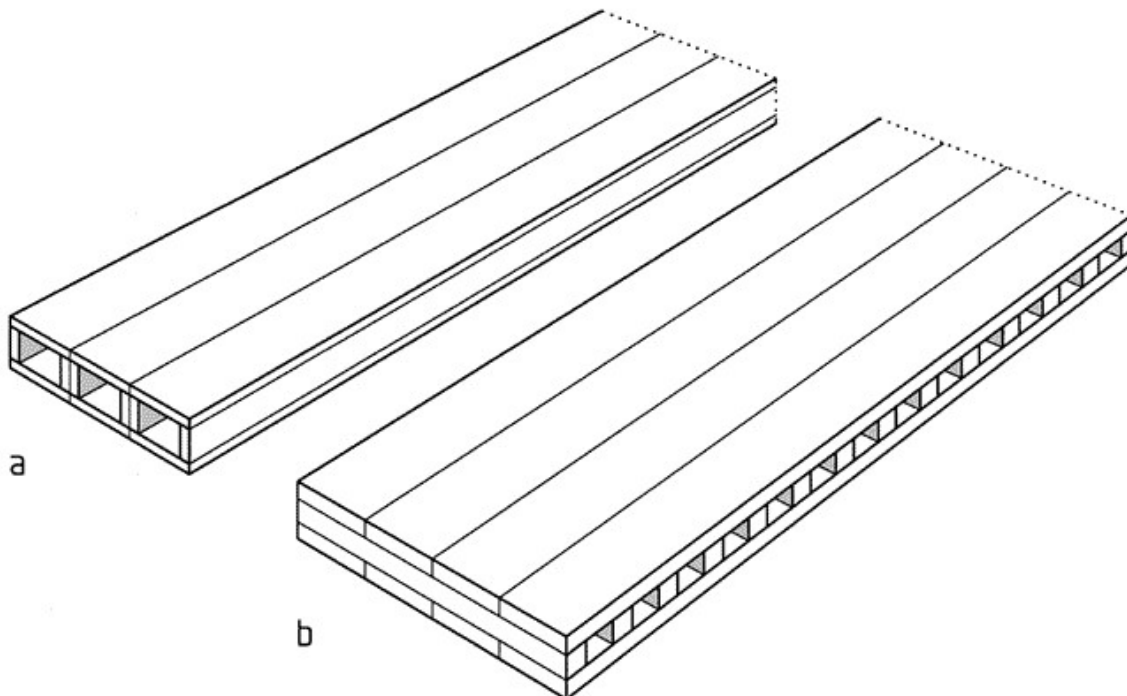
I dette kapittelet vil massivtre bli presentert sammen med relevant litteratur og teori.

## 2.1 Massivtre

### 2.1.1 Hva er massivtre?

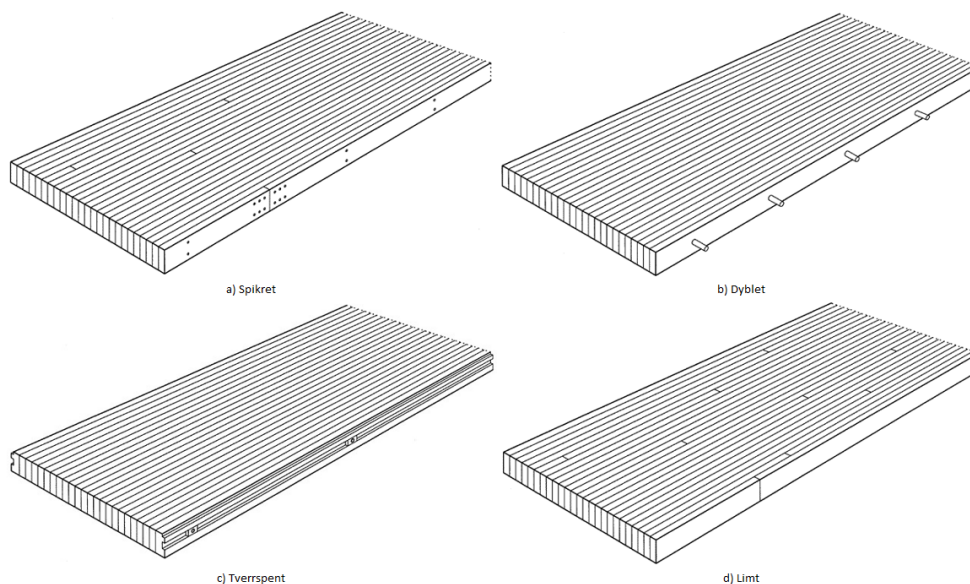
Massivtre er treplanker/lameller som blir holdt sammen av lim, spiker, tredybler, skruer eller stålstenger. I Norge er det vanlig å bruke tresortene gran eller furu, andre tresorter som bjørk eller osp kan også brukes [1]. Massivtre deles opp i 3 hovedtyper: hulromselementer, kantstilte elementer (også kalt bordstabelementer) og krysslagte elementer (også kalt flersjiktselementer) [29, 33]. Den sistnevnte er den mest vanlige typen, det er også den det blir fokusert på i denne oppgaven.

**Hulromselementer:** Hulromselement skiller seg ut fra de to andre typene ved at den ikke har et massivt tverrsnitt men har, som navnet tilsier, et hulrom mellom sjiktene. Hulromselementer kan lages både med parallelle og krysslagte elementer som vist i figur 2.1 [29]. Selv om elementene ikke er fullstendig massive, består de av nok tremateriale til å bli omtalt som massivtreelementer.



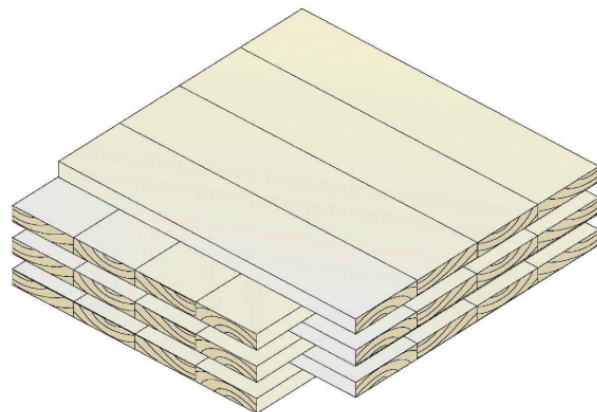
**Figur 2.1:** Hulromselement a: med parallelle lameller og b: med kryssende lameller [29]

**Kantstilte elementer:** Dette er en betegnelse for elementer som er satt sammen av stående lameller. Om lim brukes som sammenføyningsmetode, så er dette tilsvarende limtre. Det som skiller mellom kantstilte massivtre elementer og limtre er dimensjonering og at kvaliteten er tilpasset til bruk som plane bygningselementer. Til kantstilte elementer er det heller ikke unormalt å bruke dybler, spiker eller tverrspenn som sammenføyningsmetoder. For mer informasjon om de forskjellige massivtreetypene henvises det til: "Byggforsk 520.205 Massive treelementer. Typer og bruk"[29, 33]. I figur 2.2 er de forskjellige metodene for sammenføring av kantstilte elementer illustrert [29].



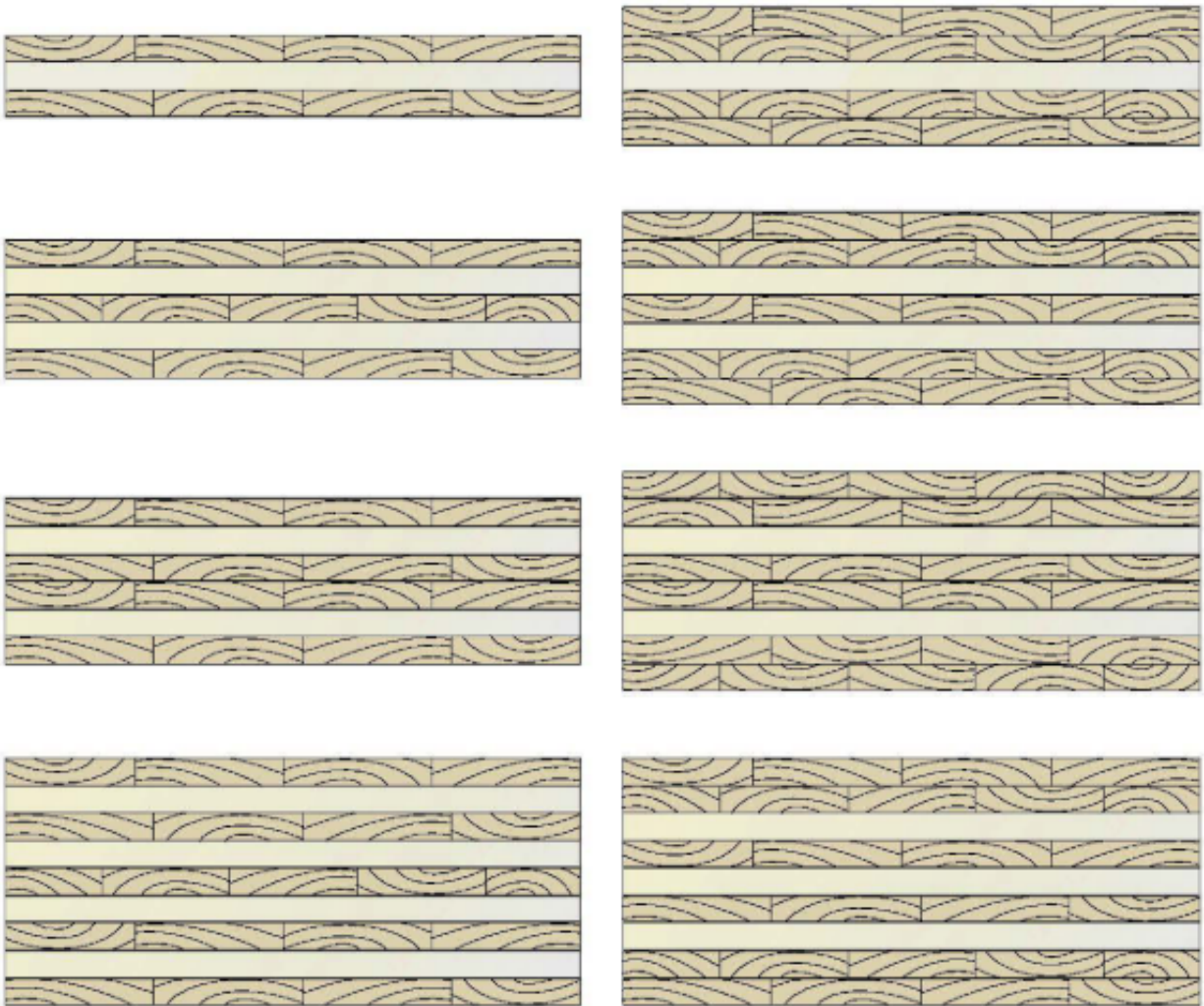
**Figur 2.2:** Kantstilte elementer, hvor figur a) har spiker som sammenføring, b) har dybler, c) har tverrspenn og d) er limt sammen [29]

**Krysslagte elementer:** Hovedfokuset i denne oppgaven er lagt på krysslagte elementer (KLT). I krysslagte elementer legges lamellene i flere sjikt i kryss på enten 45 eller 90 grader i forhold til hverandre, ofte i sjikt som vist i figur 2.3. Lamellene kan bli sammenføyd på flere forskjellige måter [29, 33], men liming er den vanligste. Elementer kan også bli spikret eller dyblet, og der er andre KLT produkter under utvikling, som for eksempel Interlocking Cross Laminated Timber (ICLT), som er Krysslaminert Tre (KLT) sammenføyd ved forrigling [1, 8].



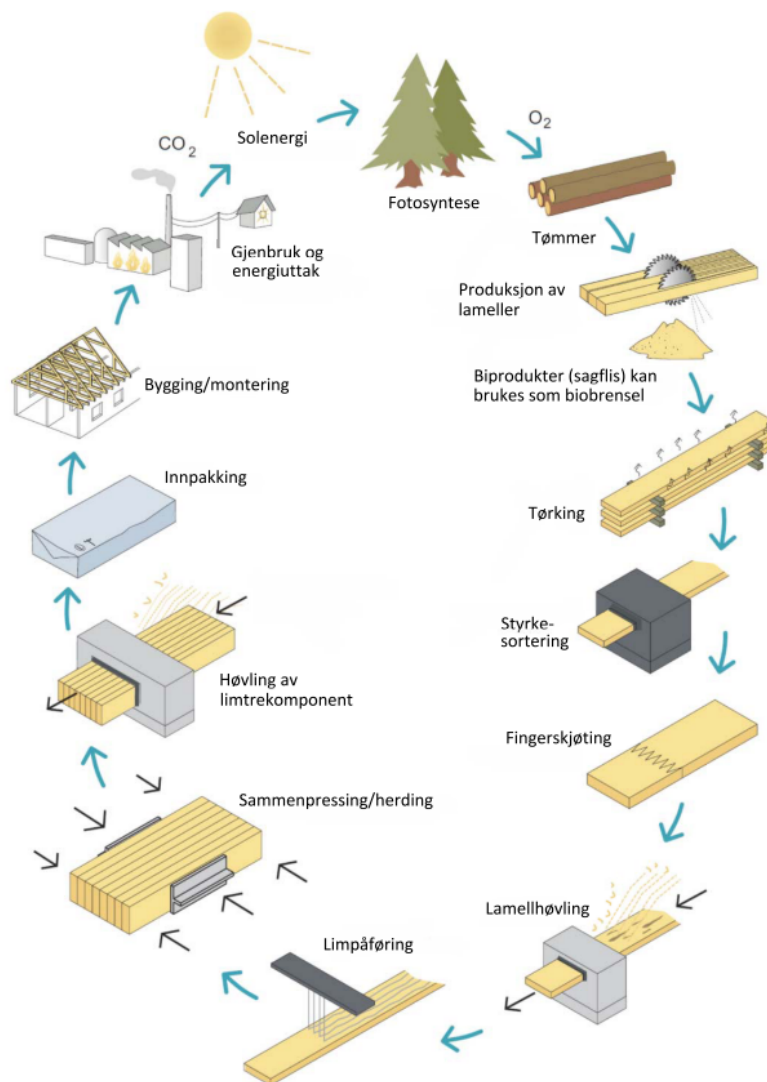
**Figur 2.3:** Krysslagte elementer hvor lagene er lagt 90 grader i forhold til hverandre [8]

Tykkelsen på hver enkelt lamell kan variere fra 16 til 51 mm og bredden kan være fra 60 mm til 240 mm alt avhengig av ønsket bruksområde og utseende. Noen eksempler på hvordan sjiktene kan bli lagt er vist i figur 2.4. Det er mest normalt å legge annethvert lag  $90^{\circ}$  mot hverandre og å ha oddetalls lag: 3, 5, 7 eller 9 lag. Men som vist på figur 2.4 så er det også mulig å legge noen av lagene dobbelt [8] [1].



**Figur 2.4:** Forskjellige antall lag og leggemetoder av lag i KLT [8]

Produksjonen av KLT er ganske lik produksjonen av tradisjonelt limtre. Den eneste forskjellene er hvordan lamellene blir limt i forhold til hverandre og tykkelsen og bredden på lamellene. Utenom dette er kretsløpet til produksjon av limtre og produksjon av massivtre lik, som vist i figur 2.5 [24]. Når KLT produseres er det også vanlig at det produseres til bestilling, og at det lages prefabrikkerte byggedeler som må monteres og eventuelt finskjæres på byggeplassen. Det blir som et byggesett med minimalt med tilpassing på byggeplassen. For mindre byggeprosjekter er det mulig å fremstille elementene på byggeplassen [29]. Når KLT skal monteres, monteres det slik at det ytterste laget er stående og ikke liggende, da dette gir best lastbærende evne.



**Figur 2.5:** Sjematisk fremstilling av limtreproduksjon, hentet fra limtreboka, side 6 [24]

## 2.1.2 Liming av massivtre

For liming av KLT gjelder samme regler som for liming av vanlig limtre, og det må derfor benyttes en godkjent konstruksjonslim i henhold til NS-EN 301:2017 og NS-EN 15425:2017. I nyere tid er det blitt vanlig å bruke lim av type melamin-urea-formaldehyd (MFU) siden denne typen lim er klar og derfor lite synlig. Det er i dag også godkjent å bruke lim av type polyuretan, også denne har fargeløse limfuger [32]. Ifølge databladet til limtre levert av Splitkon benytter de MFU og i det ferdige produktet utgjør limen under 1 % av vekten til elementene <sup>1</sup>. Et studie som ble gjort ved Forest Products Laboratory i USA konkluderte i 2016 med at bruk av MFU og PRF-lim (Phenol-resorcinol-formaldehydlim) kan bidra til mindre delaminering av lamellene i KLT [18].

<sup>1</sup>Databladd for KLT, fra Splitkon er lagt som vedlegg A

---

### 2.1.3 Kort historie om KLT

Kryss-Laminert Tre (KLT) ble først introdusert i avhandlingen til den østeriske forskeren Gerhard Schickhofer i 1994. Forskningen gjort av Schickhofer førte til at Østerrike var det første landet som fikk nasjonale retningslinjer for bruk av KLT i 2002, han ble også i 2019 belønnet med Marcus Wallberg-prisen for sitt arbeid [13].

Det var først på tidlig 2000-tallet at KLT virkelig begynte å bli tatt i bruk. Det ble da et økende søkelys på bruk av miljøvennlige og effektive byggemåter og materialer. Det ble en økt markedsføring av KLT og flere produkter ble godkjent til bruk. Dette har ført til en vekst i bygg som blir bygget med KLT, spesielt i Europa men nå også i andre deler av verden [8].

Selv om KLT, som nå er den dominerende formen for massivtre, ikke ble tatt i bruk før på 90-tallet har det blitt bygget buer i massive treelementer fra midten av 70-tallet. Det er nå blitt mer vanlig å bruke massive treelementer til etasjeskiller, tak og vegger. I Norge har det vært en økende satsing på bruk av massive treelementer helt siden det ble bygget en villa i Asker i 1998 med massive trebjelkelag i to plan. I 1997 ble det gjort en endring i forskriftene som gjorde det mulig å bygge fleretasjes trehus i Norge [29]. Siden den tid har Norge satset på KLT og har per dags dato både det høyeste (Mjøsatarnet 84,5 m høyt) og nest høyeste (Treet 52,8 m høyt) trehusene i verden. I 2013 og igjen i 2020 utførte Trebruk AS en markedsundersøkelse for å undersøke veksten i bruk av KLT frem til 2030. Det kom her frem at forbruket vil bli fordoblet fra 2019 til 2026 [22].

### 2.1.4 Fordeler og ulemper med massivtre

Massivtre anses å ha en rekke fordeler når det kommer til både miljø og tekniske egenskaper. Fra et miljøperspektiv er massivtre positivt for det totale CO<sub>2</sub> regnskapet [15]. En av flere årsaker er at energimengden som trengs for å produsere massivtre, er betraktelig lavere enn for betong. Så lenge det plantes nytt så vil de nye treene ta opp like mye eller mer karbondioksid enn det som det blir generert ved å hogge de ned, altså er det totale karbonregnskapet positivt [9, 33]. Når man bygger med massivtre lages det prefabrikkerte moduler på fabrikker slik at det blir enkel montering på byggeplassen, dette gjør at det blir mindre avfall på byggeplassen og mindre svinn i materialer [15]. Selv om man må frakte treverket med fossilt brennstoff, er frakten mer miljøvennlig enn frakt av for eksempel betong siden tre har en betraktelig lavere vekt [9, 33]. Men denne lave vekten kan også skape problemer når man bygger i høyden, fordi lav vekt kan føre til ustabilitet i bygget. Dette kan løses ved å ha betong i noen av etasjeskillerne, slik det er gjort i Mjøsatarnet [23].

Massivtre har også gode tekniske egenskaper når det kommer til akustikk, fukt, varme og brann. Tre vil ta opp fuktighet og varme dersom temperaturen og luftfuktigheten er høyere i rommet enn i treelementene og avgi om temperaturen og luftfuktigheten er lavere. Siden tre tar til seg fuktighet, vil det også være fare for råte, dette må en ta hensyn til i byggeprosessen for å sikre at bygget skal holde lengst mulig [9, 15, 33].

Når det gjelder brann og varmeoverføring i brannsituasjoner har massivtre meget gode egenskaper. Når tre brenner så blir det ytterste laget forkullet mens kjernen holdes kald, så selv om overflaten brenner så holder altså strukturen inni lenge. Tre utvider seg heller ikke slik som stål gjør under oppvarming, noe som gjør at tre ikke vil forårsake sprekker i betong-fundamentet slik som stål kan gjøre. Stål vil også endre oppførsel ettersom temperaturen stiger, mens tre vil være mer



stabil med temperaturstigning [9]. Ulempen med at tre brenner et at treet vil bidra til brannenergien, i tillegg så vil treet kunne være en bidragsyter til røykproduksjon noe som ikke vil være tilfellet ved bruk av betong. Siden tre brenne så vil den til slutt bli gjennombrent og derav vil den ikke alltid holde et fullstendig brannforløp, om brannforløpet varer veldig lenge [1]. En ekstra fare med tre, selv om det tilsynelatende er slukket, er ulmebrann noe som kan være med å svekke integriteten på bærende elementer selv etter brannen er slukket (det tekniske rundt brann i tre blir mer forklart i kapittel 2.3).

Generelt så er det ikke mange store og høye bygg som er bygget av tre, dette gjør at det er manglende data og forskning på området, noe som fører til at det er mange usikkerheter når tre brukes som byggemateriale i store bygg. I Norge er det også strenge regler for bruk av tre som gjør at det ikke er like mange preaksepterte løsninger ved bruk av massivtre, dette fører til at man må vise ved beregninger, simuleringer eller annen dokumentasjon at tre er tilstrekkelig sikkert å bruke, dette er noe som kan være med på å øke kostnadene ved bruk av KLT.

## 2.2 Regelverk

I Norge er det byggteknisk forskrift (pr dags dato TEK17) som er det styrende regelverket for bygg. Dette er en funksjonsbasert forskrift med en rekke preaksepterte løsninger. Dette vil si at man kan enten følge de preaksepterte løsningen for å tilfredsstille forskriften eller så kan man dokumentere at kravene er tilfredsstillt ved å bruke godkjente norske og europeiske standarder.

Noen av de mest sentrale standerne som kan hjelpe med å dokumentere tilstrekkelig brann-sikkerhet er; NS-EN 1991-1-2:2002 ” *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-2: Allmenne laster - Laster på konstruksjoner ved brann* og NS-EN 1995-1-2:2004 *Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering*. Den gjeldene variasjon av NS-EN 1995-1-2 er i dag fra 2004 men denne inneholder ikke branndimensjonering av KLT. Det har siden 2004 blitt gjort en rekke studier på KLT og det er forventet at KLT vil bli inkludert i EN 1995-1-2:2020 (E) som nå er under revidering. Denne nye variasjonen av Eurokode 5 er foreløpig på 3 utkast og er enda ikke offentlig tilgjengelig, dette vil si at det fortsatt vil være en stund til den trer i kraft og at det derfor fortsatt er NS-EN 1995-1-2:2004 som er den gjeldende Eurokode 5 [30].

### 2.2.1 Byggteknisk forskrift

#### Risikoklasser

Byggteknisk forskrift deler bygg inn i risikoklasser utfra hvor stor fare det er for skade på liv og helse. Disse risikoklassene utgjør grunnlaget for prosjektering av redning og rømning ved brann. Tabell 2.1 viser en oversikt over risikoklassene i henhold til byggteknisk forskrift.

**Tabell 2.1:** Risikoklasser i henhold til Tek17 § 11-2, med eksempler

Risikoklasser	Byggverk kun beregnet for sporadisk personopphold	Personer i byggverk kjenner rømningsforhold, herunder rømningsveier, og kan bringe seg selv i sikkerhet	Byggverk beregnet for overnatting	Forutsatt bruk av byggverk medfører liten brannfare	Eksempler på bygg fra tabell 1 § 11-2 Tek17
1	ja	ja	nei	ja	Båtnaust, carport, flyhangar, skur
2	ja/nei	ja	nei	nei	Kontor, lager, laboratorium
3	nei	ja	nei	ja	Barnehage, skole
4	nei	ja	ja	ja	barnehjem, bolig, boligbrakke, studentboliger
5	nei	nei	nei	ja	Forsamlingslokale, idrettshall, kirke, kino
6	nei	nei	ja	ja	fengsel, hotell, pleieinstitusjon, sykehus, turisthytter/vandrehjem

## Brannklasser

I tillegg til å dele inn i risikoklasser der også byggt teknisk forskrift bygg inn i brannklasser ut fra hvilke konsekvenser en brann kan ha, med tanke på helse, liv, miljø og samfunnsmessige interesser. Inndelingen av brannklassene er vist i tabell 2.2.

**Tabell 2.2:** Brannklasser i henhold til Tek17 § 11-3

Brannklasse	1	2	3	4
Konsekvens	Liten	Middels	Stor	Særlig stor

Ut fra disse brannklassene finner man grunnlaget for kravene til byggets bæreevne ved brann. For å finne den korrekte brannklassen må man vite risikoklassen og antall etasjer bygget har, med den informasjonen kan man så finne brannklassen ut fra tabell 2.3 (unntak er gitt i TEK 17 § 11-3, veiledning til bestemmelse). I tabell 2.3 er ikke brannklasse 4 gitt, for å vite om bygget tilhører brannklasse 4 må man sjekke veiledningen § 11-3, dette kan da være bygg som for eksempel er mer enn 16 etasjer, byggverk som i hovedsak ligger under terreng eller byggverk for kjemisk industri og miljøfarlig produksjon.

**Tabell 2.3:** Brannklasser etter antall etasjer i henhold til Tek17 § 11-3

Risikoklasse	Antall etasjer			
	1	2	3 og 4	5 eller flere
1	-	BKL 1	BKL 2	BKL 2
2	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
3	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
4	BKL 1	BKL 1	BKL 2	BKL 3
5	BKL 1	BKL 2	BKL 3	BKL 3
6	BKL 1	BKL 2	BKL 2	BKL 3

### Overflate krav

I TEK17 Kapittel 11 er overflater betegnet som: ”{...} det ytterste laget av en bygningsdel (det du kan ta på), for eksempel overflatesjikt som dannes av maling, tapet og tilsvarende.{...}” Men det er også viktig å nevne at TEK17 også videre forklarer at underlaget overflaten er på også må tas i betraktning, som vil si at det er sammensetningen av underlaget og overflaten som tilslutt blir klassifisert. Altså må en overflatebehandling bli klassifisert for forskjellige underlag [6].

I henhold til NS-EN 13501-1 deles klassifiseringen av overflater inn i hovedgruppene A1, A2, B, C D E og F. Hvor A1 er ubrennbar materiale som ikke bidrar til brannen i det heletatt, A2 bidrar minimalt, klasse B, C, D og E er brennbare materialer med henholdsvis 20, 12, 10 og 2 minutter til kriteriebrudd (minimum), og F er uklassifiserte materialer [6, 21].

I tillegg er det underklasser for røykproduksjon, s1-s3, og for brennbare dråper, d0-d2. Hvor s1 er minst røykproduksjon og s3 er mest. d0 vil si at det ikke er noe brennbare dråper mens d2 er mest brennbare dråper. For s3 og d2 er det ingen begrensning for hvor mye røyk, brennbare dråper og partikler som kan bli produsert [6, 21].

I TEK17 § 11-9 er det gitt en rekke preaksepterte løsninger med tanke på overflate kravene i risikoklasse 1-5 og risikoklasse 6. Disse kravene er gjengitt i tabell 2.4.

**Tabell 2.4:** Preakseptert ytelseskrav til overflater i henhold til Tek17 § 11-9, for risikoklasse 1-5 og risikoklasse 6

Overflater	Brannklasse					
	1		2		3	
	Risikoklasse 1-5	Risikoklasse 6	Risikoklasse 1-5	Risikoklasse 6	Risikoklasse 1-5	Risikoklasse 6
<b>Overflater i brannceller som ikke er rømningsvei</b>						
Overflater på vegger og i himling/tak i branncelle inntil 200 m <sup>2</sup>	D-s2,d0	B-s1,d0	D-s2,d0	B-s1,d0	D-s2,d0	B-s1,d0
Overflater på vegger og i himling/tak i branncelle over 200 m <sup>2</sup>	D-s2,d0	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0
<b>Overflater i brannceller som er rømningsvei</b>						
Overflater på vegger og i himling/tak	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0	B-s1,d0

---

Tabell 2.4 ser kun på innvendige overflater på vegger og i himling/tak siden det kun er det som er relevant for denne oppgaven.

### **Sprinkler**

Når det kommer til automatiske slokkeanlegg i bygninger så er det sprinkler man tar som utgangspunkt, i henhold til TEK17 kan man også bruke andre slokkeanlegg, men da må det foreligge dokumentasjon på at systemet har like eller bedre beskyttelse og pålitelighet som et sprinkleranlegg.

Fra TEK17 § 11-12 er det gitt at i bygg hvor rømning kan ta lang tid skal det være aktive branntiltak som forlenger den tilgjengelige rømningstiden. Denne paragrafen setter at et automatisk slukkeanlegg må være til stede i følgende situasjoner:

*Brannceller med åpen forbindelse over flere plan i byggverk i risikoklasse 1, 2, 4 og 5, hvor samlet bruttoareal er større enn 800 m<sup>2</sup> for de plan som har åpen forbindelse, må ha automatisk sprinkleranlegg,*

*Areal som har åpen forbindelse inn mot overbygd gård må ha automatisk sprinkleranlegg. Unntak er små arealer som resepsjoner, altanganger og lignende der brannenergien er liten.*

*Byggverk eller del av byggverk i risikoklasse 4 hvor det kreves heis, skal ha automatisk brannslukkeanlegg.*

*Byggverk i risikoklasse 6 skal ha automatisk brannslukkeanlegg.*

Kravet om automatiske slokkeanlegg er betraktelig skjerpet fra den forrige byggetekniske forskriften, TEK 10. Noe som har ført til at man ikke lengre kan sprinkle bort mangler, men at det nå er et eksplisitt krav om sprinkleranlegg i flere situasjoner.

### **Andre krav**

Den byggetekniske forskriften setter også en rekke andre krav til byggematerialer, det er blant annet krav til bæreevne (R). Bæreevnen i brannklasse 1 og 2 skal i henhold til tek 17 § 11-4 være dimensjonert slik at den minimum holder i tiden det tar å rømme/redde personer og husdyr. I brannklasse 3 og 4 skal bæreevnen dimensjoneres slik at den holder et fullstendig brannforløp.

Det er krav om integritet (E) og isolasjon (I) utfra om bygningsdelen er del av en branncelle eller brannseksjon og i forhold til den spesifikke brannenergien og hvilke brannklasse bygget tilhører. Det vil ikke bli gått mer inn på de spesifikke REI kravene for forskjellige rom og brannklasser i denne oppgaven, men det er viktig å vite at det også er krav om dette og at disse kravene kan finnes i TEK 17 § 11-4, § 11-7 og § 11-8.

## 2.3 Brann i tre

I dette kapittelet blir det sett på hva som skjer når tre brenner, da med et spesielt fokus på KLT.

### 2.3.1 Generelt

Tre har den evnen at det leder varme dårlig, noe som vil si at så lenge det ikke er gjennomforkullet/gjennombrønt så vil det være lite varmeoverføring mellom rom, så lenge det bare brenner på ene siden. I tillegg så brenner tre forutsigbart, noe som gjør at det er let å bergene hvor lang tid det tar før gjennombrenning inntreffer [34].

Fuktigheten i treet vil starte å fordampe ved rundt 100 °C, når temperaturen stiger videre oppover til flammepunktet på 230-260 °C foregår pyrolyse, som vil si at treet avgir antennelige gasser som blandes med luft. Disse gassen kan antennes ved en ekstern varmekilde. Om temperaturen stiger videre uten en ekstern varmekilde vil overflaten til treverket selv antenne ved en temperatur på 350-450 °C. Etter antennelsen kan temperaturen stige til rundt 1000 °C [34].

### 2.3.2 Forkulling og delaminering

Tre har den evnen at det forkuller når det når ca. 300 °C [2][16, pp-1985]. Siden kull har en varmeledningsevne på ca. 0,07 W/°C mens tre har en varmeledningsevne på 0,14 W/°C vil kullaget som blir dannet være med å beskytte/isolere det upåvirkete treet bak kullaget [34]. Siden det blir dannet et kullag når treet når pyrolysestadiet vil massen til treet avta og tverrsnittet til det upåvirkete treet bak kullaget vil minske, denne minskningen av tverrsnittet skyldes en økning i kullaget som gradvis forkuller det upåvirkete treet. Denne gradvise økningen skjer jevnt med en hastighet fra 0,5 - 1,0 mm/min utfra hvilke tresort som er i bruk [2, 28]. Denne hastigheten er omtalt som forkullingshastigheten og har benevnelsen  $\beta_n$  eller  $\beta_0$  (Hvor  $\beta_n$  er en teoretisk forkullingshastighet som tar hensyn til økt forkulling i hjørner og  $\beta_0$  er forkullingshastigheten ved endimensjonal eksponering). På figur 2.6 er det vist et bilde av en av forsøksstykkene, figuren viser et klart kullag, et lag som tydelig er varmpåvirket, men ikke er fult forkullet og et lag som er upåvirket av den eksterne varmekilden.



**Figur 2.6:** Bilde som viser forkullet lag, varmpåvirket lag og upåvirket lag i et av teststykkene. (bilde er tatt av forfatteren selv)

Når forkullingsdybden skal bestemmes brukes NS-EN 1995-1-2:2004 [30], denne standarden nevner ikke spesifikt KLT (siden KLT ikke spesifikt nevnes brukes verdier for Glued laminated

timber siden KLT vil være en form av dette). Ved beregning av forkullingsdybden tas det også hensyn til om det er hjørne eksponering eller om det bare er ensidig eksponering, for en-dimensjonal eksponering kan man regne forkullingsdybden ved følgende[30]:

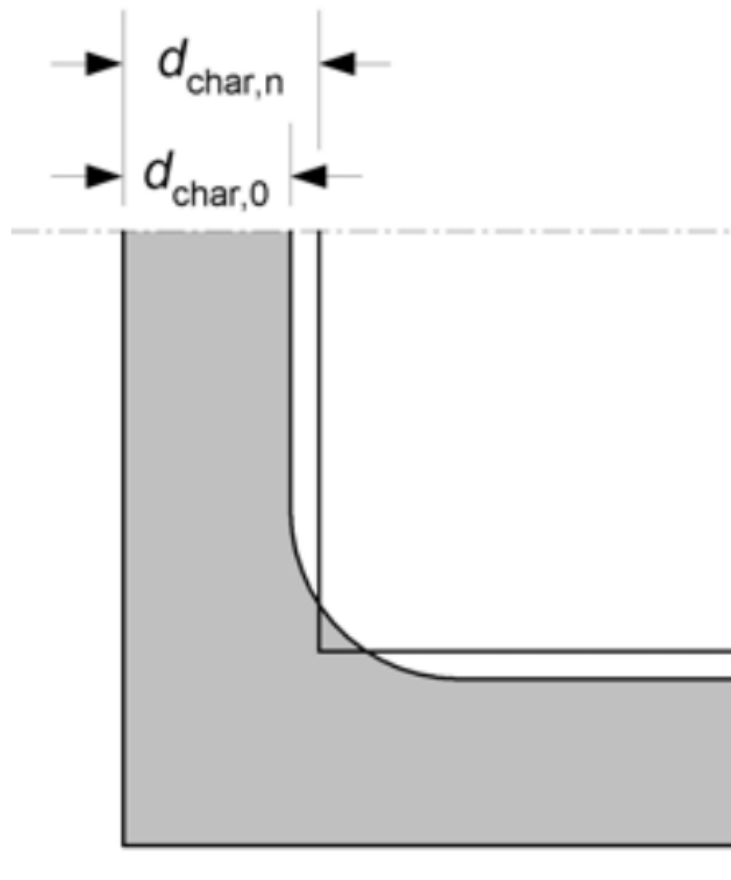
$$d_{char,0} = \beta_o \cdot t \quad (2.1)$$

Hvor  $d_{char,0}$  er endimensjonal forkullingsdybde,  $\beta_o$  er forkullingshastigheten ved endimensjonal eksponering under standard branneksposering og  $t$  er tiden på brann eksponeringen [30].

Om det er det er hjørneeksponering kan man regne ut en teoretisk forkullingsdybde ved bruk av følgende formel [30]:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (2.2)$$

Hvor  $d_{char,n}$  tar hensyn til avrunding av hjørner som vist i figur 2.7, og  $\beta_n$  er en teoretisk forkullingshastighet som tar hensyn til økt forkulling i hjørner[30]. Figur 2.7 viser et element som er eksponert på to sider, i figuren ser man at  $d_{char,n}$  er lengre større en  $d_{char,o}$ , dette skyldes at i hjørnet så blir det forkullet mer grunnet at det er eksponering fra to sider, dette fører igjen til en større forkullingsdybde.



**Figur 2.7:** Forkullingsdybde  $d_{char,0}$  for endimensjonal forkulling og teoretisk forkullingsdybde  $d_{char,n}$  for hjørneeksponering [30]

## Kapittel 2. Teori og litteratur

---

Noe som også må tas hensyn til er om treet er beskyttet eller ubeskyttet. Formel 2.1 og 2.2 tar utgangspunkt i ubeskyttet tre og har derfor lik forkullingshastighet hele tiden. Men om man beskytter treet det være ingen eller mindre forkulling frem til beskyttelsen svikter eller svekkes. I figur 2.8 vises de fire forskjellige forkullings løpene (når limen mellom lamellene holder gjennom hele brannforløpet) ifølge den europeiske modellen som er forklart i EN 1995-1-2:2020 [31]. Figur 2.8a viser forkulling løpet for ubeskyttet tre, altså forkullings dybde over tid ved bruke av ligning 2.1. De andre tre figurene viser forskjellige varianter av forkullingsdybde over tid når treet er beskyttet. I figur 2.8 er det vist 5 forskjellige faser hvor de forskjellige fasene er:

Fase 1: Normale forkulling. Dette er forkullings dybde utfra ligning 2.1, denne fasen kan ses på som en referanse og vil bare inntreffe når det er snakk om ubeskyttet tre.

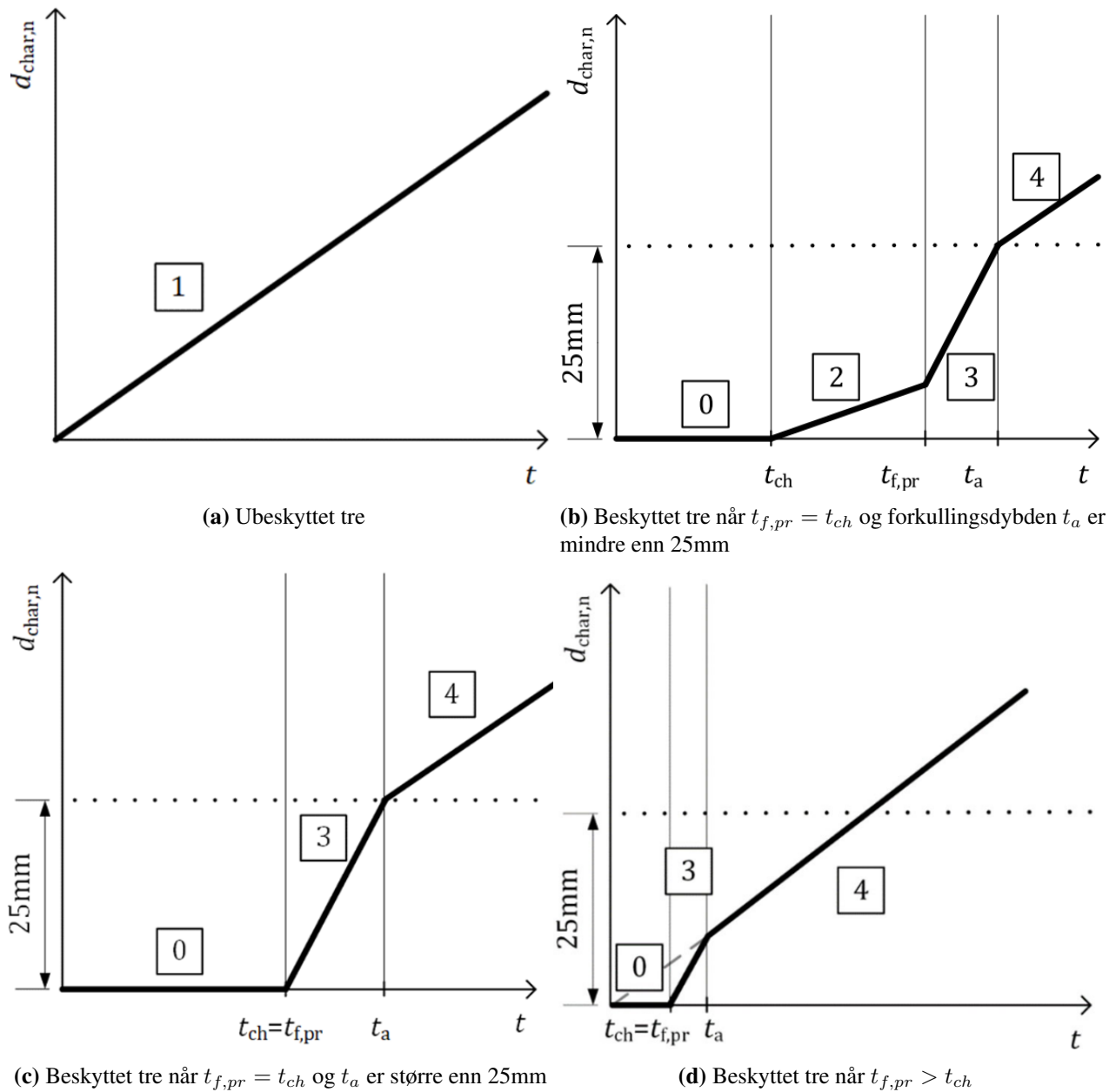
Fase 0: Innkapslet fase. Innkapslet fase er når treet er beskyttet og forkulling ikke har startet enda, denne fasen avsluttes når forkulling starter (forkullingens startpunkt blir omtalt som  $t_{ch}$ ).

Fase 2: Beskyttet Forkulling. Beskyttet forkulling er når treet forkulles men mens det fortsatt er noe beskyttelse. I denne fasen er skjer forkulling saktere enn normal forkulling. Normal forkulling avsluttes når det beskyttende laget er helt vekke (Dette tidspunktet omtales som beskyttelsestid ( $t_{f,pr}$ )). Denne fasen kan for eksempel skje om man bruker en gipsplate som beskyttelse, i en stund vil gipsplaten beskytte mot all forkulling men ettersom gipsplaten ikke lengre tåler branneksponeeringen vil treet bak gipsen begynne å forkulle og tilslutt vil gipsplaten svikte og treet vil bli direkte eksponert for brannen.

Fase 3: Svikt i ekstern beskyttelse. Denne fasen skjer etter at beskyttelsen svikter ved tiden  $t_{f,pr}$ . I denne fasen skjer forkulling hurtigere enn ved andre faser, dette skyldes at etter beskyttelsen svikter så blir plutselig ubeskyttet tre utsatt for en voldsom brann påkjenning uten at treet har hatt tid til å bygge opp sitt eget beskyttende kullag. Denne fasen avsluttes når man når konsolideringstiden ( $t_a$ )

Fase 4: Konsolidering. Denne fasen skjer når treet har fått bygget opp et tilstrekkelig kullag slik at forkulling skjer ved lik hastighet som ved normal forkulling, det er i denne fasen ikke lengre noe ekstern beskyttelse men bare treet eget kullag som beskytter det ubrente treet.

Forkullingshastigheten ( $\beta_n$ ) er normalt på mellom 0,5 - 1 mm/min, for norsk KLT brukes 0,7 mm/min i henhold til Eurokode 5.



**Figur 2.8:** Forkullings faser for initialt beskyttet eller ubeskyttet tre ifølge den europeiske forkullingsmodellen når man antar at limen mellom lamellene holder gjennom et helt brannforløp ved standard brannpåkjenning [31]

Når man ser på forkullingsfasene som er vist i figur 2.8 så er det antatt at et kullag på 25 mm gir tilstrekkelig beskyttelse for å redusere forkullingen til normal forkullingshastighet (fase 1), dette vil da si at forkullingshastigheten i fase 4 vil tilsvare forkullingshastigheten i fase 1 [31].



**Symboliste for figur 2.8 og 2.9:**

$d_{char,n}$  - Teoretisk forkullingsdybde

$t$  - Tid

$t_a$  - Konsolideringstid

$t_{ai}$  - Konsolideringstid for lag  $i$

$d_{ch}$  - Start tid forkulling

$d_{f,pr}$  - Tid når beskyttelses systemet feiler

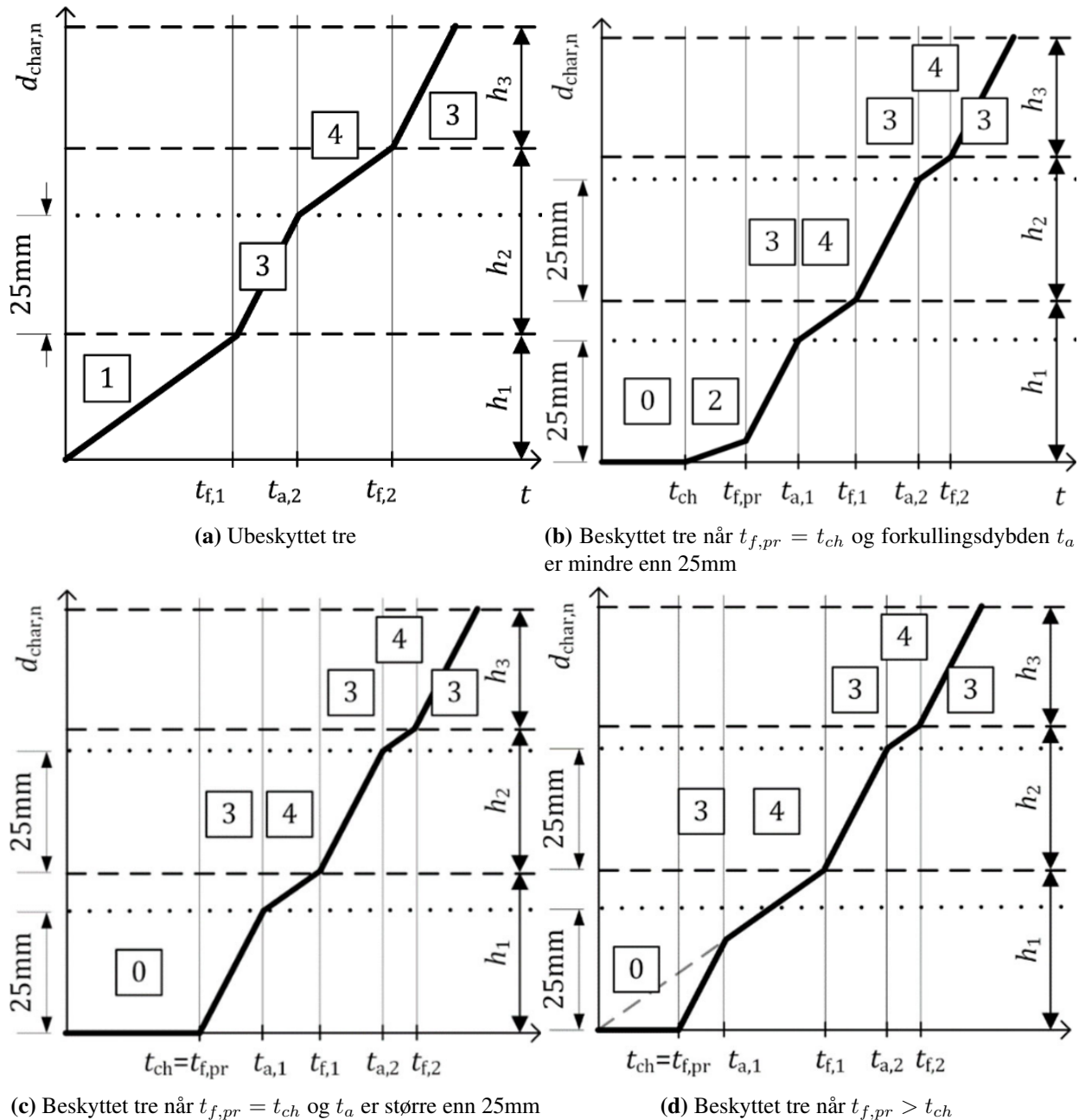
$h_1, h_2, h_3$  - Tykkelse for lamell/lag  $i=1, i=2$  og  $i=3$

**Delaminering:**

I figur 2.8 er det vist fasene for forkulling om man har et massivt trestykke (eller limte elementer hvor limen holder gjennom hele brannforløpet). Men for limtre og KLT så er det limt sammen flere lameller for å lage et element, dette medfører at det er en risiko for delaminering om limintegriteten ikke holder.

Delaminering oppstår når deler som er forkullet faller av veggen, som gjør at det hittil upåvirkte treet under kullaget blir eksponert, dette fører til at isolerende funksjonen til kullaget forsvinner, som igjen fører til en økt forkullingshastighet [28]. Delaminering kan skyldes at limen mellom lamellene ikke tåler varmen som gjør at den mister den bindende effekten.

Om delaminering inntreffer så vil ikke lengre forkulling skje lineært som i figur 2.8a, men det vil istedenfor skje en økning i forkullingshastighet hver gang kullaget nærmer seg en skjøt mellom to lameller. Dette skyldes at limen ikke lengre holder derfor vil det forkullede treet løsne og falle av elementet og derav ikke lengre isolere treet under. Forkulling vil fortsatt skje i de samme fasene som vist i figur 2.8 med ved delaminering vil fasene skje som vist i figur 2.9. Fra figur 2.9 kan det ses en økning i forkullingshastigheten hver gang en lamell faller av (markert i figur 2.9 som  $t_{fi}$ , altså tid hvor lag  $i$  feiler). Denne økningen i forkullingshastighet vil vare frem til det er dannet et nytt kullag på 25 mm, da vil treet igjen være isolert og forkullingshastigheten reduseres, dette er vist i figur 2.9 ved at når forkulling nærmer seg tykkelsen på en lamell ( $h_1, h_1, h_1$ ) så endrer fasen seg fra fase 4 til fase 3.



**Figur 2.9:** Forkullings faser for initialt beskyttet eller ubeskyttet tre ifølge den europeiske forkullingsmodellen når man antar at limen mellom lamellene ikke holder gjennom et helt brannforløp ved standard brannpåkjenning [31]

At limen ikke holder gjennom et helt brannforløp kan være med å skape høyere forkullingshastighet, det er av den grunn viktig å bruke lim som holder gjennom et helt brannforløp. For tre til tre sammenkoblinger kan man i henhold til Eurokode 5 benytte NS-EN301, NS-EN15425, NS-EN 16254, EN 14374, NS-EN 636 eller NS-EN 13353 for å tilfredsstille lim kravene. Om man oppfyller lim kravene kan limte elementer betraktes som et massivt element og delaminering trengs ikke lengre å tas hensyn til.

### 2.3.3 Energibidrag fra tre

Når tre brenner vil tre også være med å gi et bidrag til energiproduksjonen ved en brann, dette er noe som må tas med i beregninger av brannbelastning. Men det er ikke nødvendig å ta med hele tre elementet, det trengs bare å regne med den delen som er med i brannforløpet. Om en vegg er 200 mm og skal være klassifisert til R60 trenger man bare å beregne at ca. 50 mm av veggen bidrar til brannbelastningen [1]. Grunnen til at man ikke trenger å ta med hele tykkelsen er fordi om det regnes med norsk massivtre av gran så er forkullingshastigheten 0,7 mm/min i henhold til Eurokode 5 (generelt for tre er hastigheten 0,5-1,0 mm/min). Dette gir da at man kan regne ut hvor mye av veggen som er brent ved å multiplisere hvor fort vegen brenner med hvor lenge den skal holde, altså vil det i løpet av 60 min være 42 mm av veggen som vil være med å bidra til brannbelastningen (0,7 mm/min · 60 min = 42 mm), med litt ekstra feilmargin så må man regne med at ca. 50 mm av veggen bidrar til brannbelastningen. For at dette skal stemme er det også tatt i betraktning at limintegriteten opprettholdes og at det derav ikke forekommer noe delaminering. Man kan derfor regne ut forkullingsdybden ved bruk av ligning 2.1.

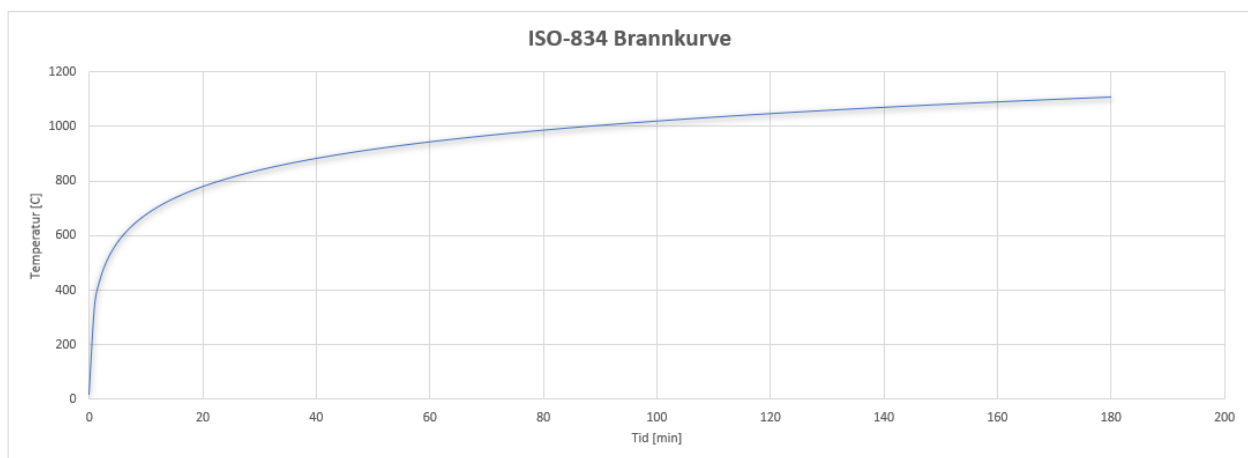
## 2.4 Branntesting av materialer

Den mest utbredte brannkurven er en ISO-834 kurve som er å finne i *NS-EN 1991-1-2*. ISO-834 blir brukt i en standardisert test som foregår i en fullskala ovn, med disse testene finner man den termiske påkjenningen til materialet som testes. Det er ved hjelp av slike tester mulig å undersøke om materialer tilfredsstillende de forhåndsbestemte kravene til brannklassifisering.

ISO-834 er gitt av ligning 2.3 og har en kurve som vist i figur 2.10:

$$T = 345 \log(8t + 1) + 20 \quad (2.3)$$

Hvor T er temperatur i rommet gitt i Celsius [°C] og t er tid gitt i minutter [min].



**Figur 2.10:** Tid/temperaturkurve for en ISO834 brann

Det er verdt å nevne at ISO-834 kurven originalt er tiltenkt for bruk i betongkonstruksjoner, den tar heller ikke hensyn til avkjølingsfasen, brennbare materialer i rommet eller utforming av rommet.

---

Derfor kan man stilt seg kritisk til testmetoden [3]. Men per dags dato er det denne kurven man bruker for å teste alle byggematerialer.

## 2.5 Tidligere studier gjort på bruk av massivtre med tanke på brannsikkerhet

Siden det har blitt en økt interesse for KLT de siste årene har det også blitt gjennomført en rekke studier på dette materialet.

### 2.5.1 Rapport - Fullstendig brannforløp i limtrekonstruksjoner

I 2017 gjennomførte SP Fire Research en branntest av tre søyler av limtre på vegne av Sweco. Søylene ble utsatt for en standard brannpåkjenning i 90 minutter. Hensikten med denne testen var i hovedsak å undersøke om det oppstår ulmebrann etter at brennerne er skrudd av og for å undersøke om det er mulig å konstruere hovedbæresystemer i limtre.

5,5 timer etter at brenneren var skrudd av, var forkullingen av søylene i all hovedsak stoppet av seg selv, det var heller ingen målepunkter innenfor 70 mm som viste temperaturer over 300 °C (300 °C er temperaturen hvor tre regnes som forkullet).

Rapporten konkluderer med at siden forkullingen stopper og derav opprettholder bæreevnen gjennom et fullstendig brannforløp så er det mulig å tilfredsstille kravene for hovedbæresystemer i brannklasse 3 og 4 i TEK17 når limtre blir brukt som materiale i bæresystemet [2]. Men selv om rapporten konkluderer med at det er mulig å dimensjonere bæresystem i limtre, poengterer den også at det må gjøres med varsomhet grunnet manglende erfaring med bruk av materialet.

Selv om det ikke er KLT som er testet i disse forsøkene anses denne rapporten som relevant, da den viser at det er mulig å bruke tre som bærende hovedsystemer i risikoklasse 3 og 4. Men en ting som er verdt å bemerke seg er at forsøkene var utført før TEK17 trede i kraft og vurderingen er gjort utfra kravene i TEK10, siden der er oppdaterte krav i TEK17 så kan det hende at konklusjonen ikke lengre vil være at det er mulig å tilfredsstille disse kravene.

### 2.5.2 Litteraturstudier på KLT

Det har vært flere tidligere litteraturstudier som har sett på brannsikkerheten ved bruk av massivtre. I 2017 utførte SP Fire Research et litteraturstudie for å undersøke ”*Bidraget fra massivtre til brannutvikling, intensitet og varighet av brannen.*”, ”*Vil brann i massivtre vil slokne av seg selv når det øvrige brenselet i brannrommet er brukt opp?*” og ”*Forkullingshastigheter i massivtre, spesielt for naturlig brann (ikkeparametrisk).*” [36]. Og i 2019 utførte RISE Fire Research et litteraturstudie som fokuserte på nyere forskning (2010 til 2018) med hovedfokus på spørsmålene: ”*Hvordan påvirkes brannutviklingen i rom der det er brukt tildekkede eller eksponerte KLT-elementer?*” og ”*Hvordan forhindre at detaljløsninger for KLT-elementer bidrar til brannutviklingen?*” [28].

I tillegg ble det gjort et litteraturstudie i 2016 av Daniel Brandon and Birgit Östman for SP Technical Research Institute of Sweden, hvor hensikten var å finne bidraget til KLT under en rombrann [4].

## Kapittel 2. Teori og litteratur

---

Disse litteraturstudiene finner relevant forskning som er gjort rundt brannsikkerhet ved bruk av KLT. Siden dette er relativt nye litteraturstudier, som er gjort av velkjente og anerkjente aktører, så vil funnene fra deres litteratursøk bli presentert istedenfor å gjennomgå hvert enkelt studie de har undersøkt i sine litteraturstudier.

### **Litteraturstudie: *The contribution of CLT to compartment fires*<sup>2</sup>**

Dette litteraturstudiet har fokusert på et spesifikt aspekt ved bruk av KLT, nemlig hvilke bidrag KLT gir til brannen. Dette er viktig å vite siden tre vil være med å øke varmeeffekt i rommet, så om man bruker eksponert tre i vegger og tak så må man som tidligere vist beregne noe av dette som brensel.

Dette studiet tar for seg totalt 45 tester utført i brannrom hvorav 41 av testene inkluderer eksponert tre og 4 av testene er referansetester med ikke brennbare byggematerialer [4].

Dette studiet viser resultater fra alle forsøkene, for å undersøke faktorer som bidrar til at KLT er med på å øke energiproduksjonen (HRR), dette er faktorer som om ”second flashover” forekommer, delaminering, selvslukking og forkullingsrate [4].

Studiet identifiserer tre metoder for å bestemme energiproduksjonen i en rombrann[4]:

1. Ved måling av den gjennomsnittlige forkullingsdybden eller forkullingshastighet for å beregne energiproduksjonen fra KLT.
2. Ved å måle vekttap til å estimere energiproduksjon.
3. Ved å måle utslippsgassene gjennom kalorimetri.

Disse studiene viser om treet er innkapslet i brannbeskyttelse (f.eks gips) gjennom hele brannforløpet så er det enten ingen eller et neglisjerbart bidrag fra treet. Faren her er om innkapslingen feiler, om den feiler så kan det oppstå en overtenning nummer to (altså en overtenning som skjer når brannen er i utbrennings fasen). Det er også vist at bruken av ubeskyttete brennbare overflater ikke bidrar til økt temperatur i rommet selv om de bidrar til økt energiproduksjon og om brannen er ventilert så kan brennbare overflater bidra til økt flammemengde ut gjennom ventilene (f.eks vinduer). Det blir også vist at bruk av tre noe ganger, men ikke alltid, bidra til at utbrennings fasen varer lenge [4].

Studiet sier også at om man skal finne bidraget fra brennbare materialer ved bruk av massetap så må fuktigheten i treet være kjent, og når det brukers kalorimetri så må bidraget fra brannkilden være kjent.

Til slutt viser studiet at forkullingsraten til ubeskyttet KLT er lik for lignende dimensjoner. Man kan derav bruke forkullingsdybden til å estimere bidraget fra KLT til brannen [4].

### **Litteraturstudie: *Brannsikkerhet i bygg med massivtre*<sup>3</sup>**

Dette litteraturstudie som er gjennomført av SP Fire Research i 2017, er mye basert på litteraturstudiet som ble gjennomført av Brandon og Östman [4] og går derfor gjennom mye av den same

---

<sup>2</sup>Navn til studiene undersøkt i dette litteraturstudiet er lagt i vedlegg B.1

<sup>3</sup>Navn til studiene undersøkt i dette litteraturstudiet er lagt i vedlegg B.2

tematikken. Men dette litteraturstudiet tar også for seg anbefalinger til videre arbeid, hvor det er hull i kunnskapen om bruk av KLT og den stiller følgende hypotese [36]:

1. *Bruk av massivtre i byggverk gir samme temperaturer i brann som ved tilsvarende bruk av ubrennbare materialer*
2. *Brann i konstruksjonselementer av massivtre og limtre vil slukke av seg selv ved bortfall av tilført energi.*
3. *Forkullingshastighet for massivtre er konstant og enkel å beregne.*

Dette studie beviser hypotesene om at massivtre gir samme temperatur som ved bruk av ubrennbare materialer. Hypotesen om at konstruksjoner av massivtre og limtre vil slukke av seg selv blir delvis avkreftet siden det er funnet studier som viser at massivtre bidrar til økt varighet, intensitet og brannvekst. I tillegg viste bare 1 av de 45 testene som ble gjennomgått av Brandon og Östman at brannen slukket av seg selv, men det var flere av testene hvor det forekommer en avkjølings fase, som vil si at temperaturen synker gradvis. Men man kan ikke anta at brannen vil slukke av seg selv.

For den siste hypotesen om at det er enkelt å beregne forkullingshastigheten og at denne er konstant, så avkrefter studiet denne hypotesen helt, etter som at det i litteraturen er funnet forkullingshastigheter fra 0,31 til 1,1 mm/min [36].

Dette studie konkluderer med at det er viktig at byggematerialer blir tatt med i beregningene, siden studier viser at brennbare byggematerialer kan bidra til mer intens brann, at brannen vokser raskere og varer lengre. Men hoved-konklusjonen fra studier er at det mangler kunnskap på området og at det bør utføres flere tester for å finne bedre parametere på forkullingshastighet, varmeavgivelse og selvslukking. Studiet anbefaler også at det utarbeides en håndbok for bruk av massivtre, som beskriver hvordan massivtreets ytelse kan dokumenteres [36]. Det er her verdt å nevne at etter dette studiet ble utgitt så har COST FP1404 laget retningslinjer for prosjektering av KLT [17], noe som også har vært med på å fremme en ny revisjon av EN 1995-1-2 (Eurokode 5) [30].

#### **Litteraturstudie: *Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger***<sup>4</sup>

Dette litteraturstudiet er det nyeste av litteraturstudiene som blir sett på til denne oppgaven, det ble gjennomført i 2019 av RISE Fire Research, målet med dette litteraturstudiet var å besvare følgende forskning spørsmål ved å undersøke studier gjennomført i perioden 2010 til 2018 [28]:

- *”Hvordan påvirkes brannutviklingen i rom der det er brukt tildekkede eller eksponerte KLT-elementer?”*
- *” Hvordan forhindre at detaljløsninger for KLT-elementer bidrar til brannutviklingen? ”*

Dette studiet har en omfattende konklusjon del, det anbefales derfor at denne leses i sin helet. Men det blir her gjengitt noe av anbefalingene og konklusjonene fra studiet.

- Det må tas hensyn til konstruksjonens eget bidrag til brannenergien i prosjekteringsfasen. Også beskyttelse av konstruksjonen må bli tatt hensyn til.

---

<sup>4</sup>Navn til studiene undersøkt i dette litteraturstudiet er lagt i vedlegg B.3

## Kapittel 2. Teori og litteratur

---

- Om det er mer enn en eksponert KLT-vegg bør det vurderes om det også er behov for analytisk brannteknisk prosjektering også i brannklasse 1 og 2.
- Det er mulig at konstruksjonen opprettholder tilstrekkelig bæreevne og stabilitet gjennom et helt brannforløp om alle deler av konstruksjonen har kledning.
- Om det bare er en eksponert KLT-vegg i hver branncelle kan det være mulig å benytte løsninger som tilfredsstillende de preaksepterte løsningene i TEK17. Men varmestråling fra den eksponerte veggen må vurderes, samt om flammer ut vinduer/åpninger kan påvirke fasaden.
- Det bør unngås å ha to eller flere eksponerte vegger av KLT i tillegg til himling.
- Varmebestandig lim kan redusere faren for delaminering.
- Det bør komme standardiserte tester for skjøter og gjennomføringer i KLT konstruksjoner.

Dette studiet viser også til at konstruksjoners med eksponert KLT kan føre til raskere brannutvikling, lengre varighet på fullutviklet brann, saktere nedkjøling og fare for sekundær overtenning ved delaminering eller nedfall av kullsjikt [28].

En ting alle disse litteraturstudiene har til felles er at alle mener det er behov for mer forskning og flere forsøker, da spesielt fullskala forsøk.

### **2.5.3 Effects of exposed cross laminated timber on compartment fire dynamics - Fire safety journal**

Dette studie ser i liket med flere andre studier på hvordan en rombrann blir påvirket ved KLT, grunnen til at det er valgt å dra frem akkurat dette studiet er fordi den er veldig spesifikk og ser bare på effekten av eksponert KLT på brannodynamikken i et rom [10].

I dette studiet ble det gjennomført 5 storskalaforsøk på rombranner. Rommet testene ble utført i hadde dimensjonene  $2,72 \cdot 2,72 \cdot 2,77 \text{ m}^2$  (d·b·h), det ble utført to tester med to eksponerte vegger, to med en eksponert vegg og eksponert tak, og en test med to eksponerte vegger og eksponert tak. De resterende veggene/tak var også av KLT men var innkapslet av gips.

Lik brannbelastning ble brukt i alle forsøkene, denne kilden var trepaller med totalvekt på 56 kg som ga en total brannbelastning på  $132 \text{ MJ/m}^2$ . Utfra denne belastningen var det beregnet brannen skulle vare 5,5 minutter om det var inerte vegger [10].

Fra testene blir det observert selvslukking, men dette er avhengig av at kullaget blir værende på veggen/taket og at delaminering ikke forekommer. I to av de identiske testene inntraff selvslukking kun i den ene. Det ble også observert at den høyeste temperaturen ikke var signifikant avvikende fra de kalkulerte temperaturene for rom uten KLT, noe som tyder på at KLT ikke bidrar til signifikant høyere temperaturer. Men selv om temperaturen ikke var høyere ble det målt vesentlig høyere energiproduksjons rate.

Studiet viser også til at om de termiske barrierene for de innkapslete veggene feiler, som de gjorde i en av testene, så blir det eksponert tre som blir utsatt for høy varmefflux noe som gjør at treet går i umiddelbar pyrolyse som igjen øker energiproduksjonsraten i rommet. Det samme gjelder for delaminering eller signifikant nedfall av kull fra vegger/tak [10].

## 2.5.4 Gjennomføringer i massivtre utført av Polyseam , med svar fra Sintef (Artikler)

Litteraturstudiet fra RISE etterspurte spesifikt et ønske om mer forskning på gjennomføringer ved bruk av KLT [28], og det er akkurat det de har fått i studiet utført av Polyseam [11, 12].

Dette studiet er et omdiskutert studie som SINTEF har valgt å legge ut et eget svar til på sine nettsider [7], men det er allikevel valgt å ta med dette studie som en del av relevante studier på KLT, men det blir da også tatt med svar fra SINTEF. Grunnen til at det er valgt å ta med studiet og svaret fra SINTEF er fordi at dette studiet er en av veldig få<sup>5</sup> fullskalastudier på gjennomføringer i KLT, men siden det er et omdiskutert studie er det også valgt å ta med saken fra flere sider

Polyseam har utført tester på to fullskala vegger på 100 mm tykkelse (3 · 3 meter) og en etasjeskiller på 150 mm tykkelse (3 · 6 meter), det er totalt utført 170 forskjellige gjennomføringer. Dette inkluderer tester av branntetting rundt kabler, metallrør, plastrør og ventilasjonskanaler. Testene ble gjennomført i Warrington fire i London og Ghent i Belgia [11, 12]. Alle elementene som er testet hadde en integritet på mellom 90 og 125 minutter. Det var ikke belastning på elementene under testene.

Fra artiklene i bygg.no [12] og brennaktuelt.no [11] sier Polyseam at basert på testene sine så anbefaler de varsomhet ved bygging i massivtre og at det kun benyttes som sekundærbærene ved bygg på mer enn to etasjer, med tradisjonelle konstruksjons materialer som hovedbæreelementer. De anbefaler videre å vurdere etasjeskiller av betong istedenfor av massivtre. Polyseam har etter testene kommet med de de kaller en ”Teknisk Håndbok” [27] for branntetting i heltre eller krysslaminert tre [12].

Det er disse uttalelsene og denne håndboken Sintef har valgt å besvare i sitt innlegg på sine nettsider [7]. I svaret fra Sintef starter de med å forklare at branntestene som er utført er gjort for å sjekke om gjennomføringene opprettholder isolasjon og integritets kriteriene (henholdsvis 140 ° C på utsiden og at en bomullsdott på utsiden ikke blir antent av varme gasser eller stikkflammer), i forhold til testene så viser gjennomføringene tilfredsstillende resultater på disse frontene. Videre forklarer Sintef at testene derimot ikke gir grunnlag for å si noe om brannutvikling og brannegenskaper i massivtre og da spesielt ikke brannmotstand i hovedbæresystemer. Videre mener Sintef at den tekniske håndboken er mer en produktbrosjyre enn en håndbok [7].

Selv om uttalelsene om bæreevne og bruken av massivtre som hovedbæresystem er omdiskutert så kan det tas ut noe viktig fra artiklene, det er at det er mulig med brannsikre gjennomføringer i massivtre. Men at det fortsatt er ønskelig med mer forskning da spesifikk med tanke på gjennomføringer og bæreevne i massivtre under brann.

---

<sup>5</sup>Eneste studiet som er klart å oppdrive til denne oppgaven





# KAPITTEL 3

## EKSPERIMENTELT OPPSETT

I dette kapitlet blir det presenteres hvordan forsøkene er bygget opp og gjennomført, dimensjoner på materialer og hvilke typer materialer.

### 3.1 Brannrom (1/3 ISO-rom)

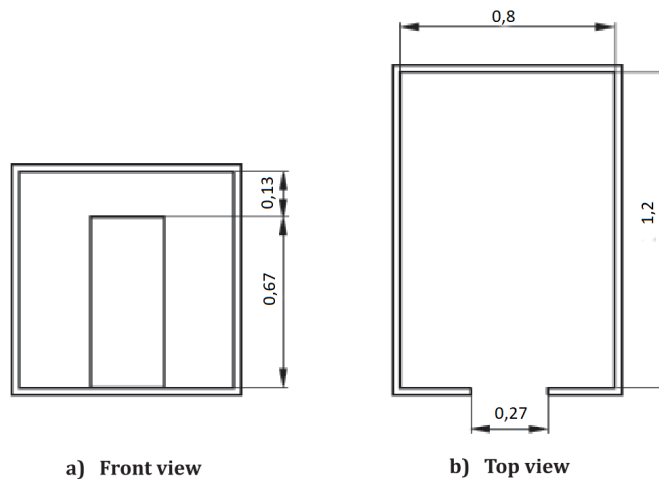
Det er valgt å baserer brannrommet på et ISO9705 brannrom. For å kunne gjennomføre flere brannforsøk og for å redusere mengden KLT og gass for hvert forsøk er det valgt å redusere størrelsen på rommet til 1/3 av størrelsen til et originalt ISO9705 brannrom Dette gir da følgende mål for Brannrommet som blir brukt til utføring av forsøk:

Bredde: 80 cm

Lengde: 120 cm

Høyde: 80 cm

Døråpning: høyde = 67 cm, bredde = 27 cm



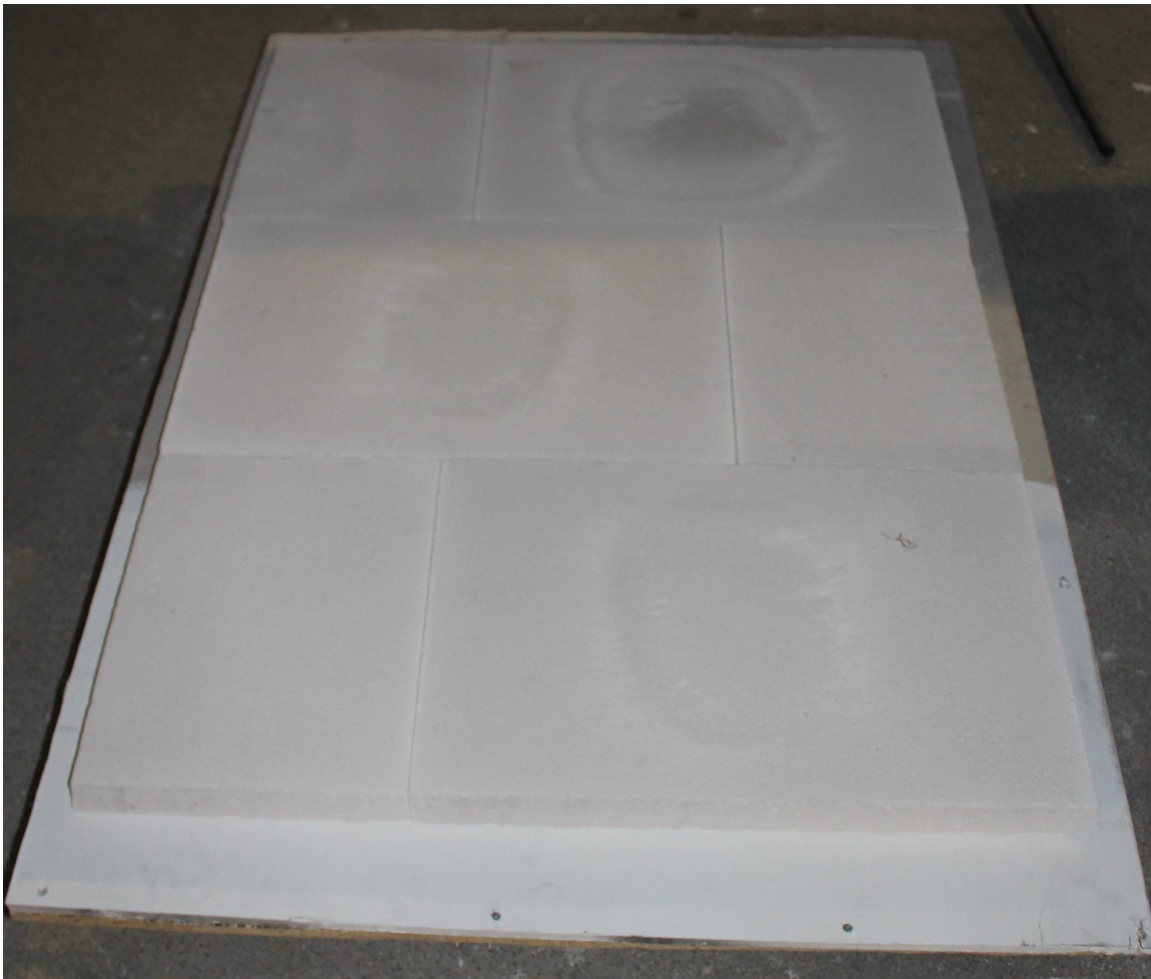
**Figur 3.1:** 1/3 ISO-Rom, rommet er 1/3-del av er ISO9705 brannrom. Verdiene er oppgitt i meter

### 3.1.1 Byggematerialer for brannrommet

Til bygging av brannrommet er det brukt Siporex blokker med målene  $40 \cdot 60 \cdot 5$  cm. Lettbetong er brukt da dette har høy brannmotstand og det er lett å bearbeide. Disse blokkene er brukt for å konstruere gulvet og veggene til brannrommet. Som tak til brannrommet er det brukt en brannmurplate på  $122 \cdot 100 \cdot 5$  cm. Veggene og gulvene er i tillegg til lettbetongen dekket med gipsplater på utsiden for å sikre at det ikke kommer inn luft mellom Siporex blokkene.

### 3.1.2 Bygging av brannrom

Det første som er bygget av brannrommet er gulvet/fundamentet, den ble bygget på en europal dekket med en kryssfinerplatte, dette er gjort for å lettere kunne flytte brannrommet ettersom at forsøkene foregår i flere omganger. Opp på kryssfinerplatten er det lagt en heldekkende gipsplate, for ekstra branntetning og for å sikre at det ikke kommer noe luft inn fra undersiden. På denne gipsplaten er det festet lettbetong blokker som dekker et areal på  $120 \cdot 90$  cm, det er disse som utgjør gulvet til brannrommet som vist på figur 3.2.



**Figur 3.2:** Bilde av gulvet til brannrommet

For at rommet skal få de ønskete innvendige dimensjonene, blir sideplattene plassert opp på lettbetong gulvet, dette gjør da at det blir tatt av 5 cm på hver side av bredden, noe som gir den ønskete bredden på 80 cm. Siden dybden på rommet er akkurat 120 cm blir det lagt på en ekstra 5 · 5 cm stripe med lettbetong slik at bakplaten kan bli plassert direkte opp denne. Siden platene er 40 cm høye blir to plater plassert opp på hverandre for å gi rommet den ønskete høyden på 80 cm. For å stabilisere og tette eventuelle sprekker mellom spiorex blokkene blir det skrudd og limt på gipsplater på utsiden av alle veggene. Fig 3.3 viser rommet med monterte bakvegg og sidevegger.



**Figur 3.3:** Bilde av bakvegg og sidevegg

I bakplaten er det så boret et hull 7 cm fra gulvet og 40 cm fra veggen av rommet, dette hullet er for tilførsel av gass til gassbrenneren, som vist på figur 3.4. Gassbrenneren har et lag med sand som gassen strømmer gjennom og som gir jevnt tilstrømning av gassen over hele arealet til brenneren.



**Figur 3.4:** Bilde av Gasbrenner og oppkobling av slange for gasstilførsel til brenner

### Kapittel 3. Eksperimentelt oppsett

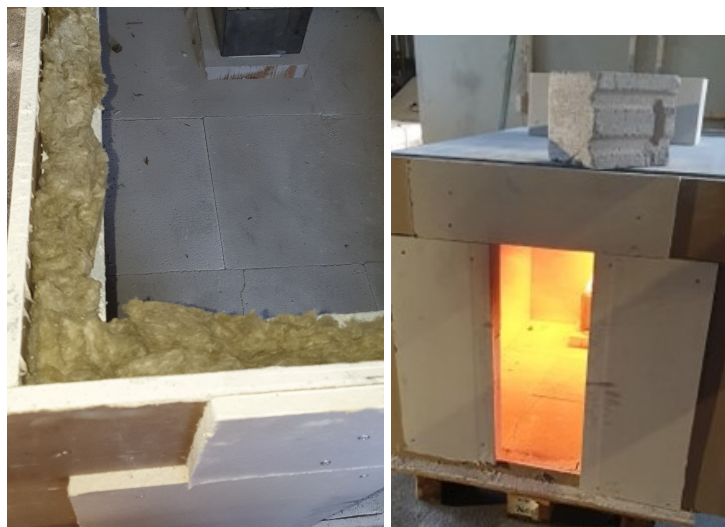
---

Front veggen er montert på samme måte som bakveggen. Eneste forskjellen mellom de er at det i frontplaten er kuttet til en dør på  $67 \cdot 27$  cm. Det er også montert dobbel gipsplate rundt åpningen, dette er gjort fordi det vil være overtenning i rommet og med doble plater vil det bare være å skifte de ekstra gipsplatene istedenfor hele fornt veggen, om det skal komme noe skader på grunn av den høye temperaturen. Figur 3.5 viser fronten på rommet med åpning.



**Figur 3.5:** Bilde av frontvegg med og uten gipsplater

Gipsplaten som er utenpå rommet stikker ca. 5 cm ovenfor toppen av lettbetong veggene foruten om på ene langsiden hvor gipsplaten er kuttet i lik høyde som lettbetongveggen. Dette er gjort for å tette ekstra når taket kommer på, foruten om på ene siden for å gjøre det lettere å rigge opp og ned for nye forsøk. Det blir også lagt løs isolasjon (Rockwool) mellom taket og veggen (vist på figur 3.6 for å sikre at det ikke siver ut røyk i overgangen mellom veggene og taket. I tillegg blir det plassert vekter på taket for å sikre til fredstilende tetthet (som vist i figur 3.6).



**Figur 3.6:** Bilde av isolasjon og takplate med vekter

## 3.2 Materialevalg for forsøkene

I forsøkene ble det totalt testet 21 teststykker, hvorav 16 av teststykkene var 5-lags KLT, 2 av teststykkene var 3-lags KLT av gran og 3 av teststykkene var heltre av furu. Av KLT teststykkene var halvparten behandlet med brannhemmende maling og halvparten ubehandlet, av heltre teststykkene av furu var alle teststykkene trykkimpregnert med et brannhemmende stoff. I denne delen blir det forklart spesifikasjonene til materialene og hva de forskjellige behandlingene innebærer.

### 3.2.1 Spesifikasjoner teststykker

Alle 16 teststykkene av 5-lags KLT som er benyttet i denne oppgaven er levert av Splitkon. De er kuttet til å være 10 cm brede, 10 cm tykke og 75 cm høye, bredden på 10 cm er valgt for å matche tykkelsen på 10 cm. Tykkelsen er gitt av at hver lamell er 2 cm tykke som gir en total tykkelse på 10 cm. Høyden på teststykkene er valgt for å passe i brannrommet. Av disse 16 teststykkene ble halvparten behandlet med brannhemmende maling, mens halvparten forble ubehandlet. En ytelseserklæring for de ubehandlede teststykkene av 5-lags KLT er lagt ved i vedlegg A.

Selskapet som har hjulpet med overflatebehandling (den klare brannmalingen) har sine fabrikker utenfor Norge og det var av den grunn ikke mulig å sende prøvestykkene fra Splitkon til de for å få de behandlet. Selskapet fikk istedenfor tak i KLT lokalt og sendte et trestykke som var profesjonelt overflatebehandlet og et som ikke var overflatebehandlet (for å kunne sammenligne). Disse teststykkene er 3-lags KLT som er 9 cm tykke, hvor hver av lamellene er 3 cm tykke, 10 cm brede og 75 cm høye. Teststykkene levert av disse vil heretter bli referert til som 3-lags teststykker.

### 3.2.2 Typer overflatebehandling

I forsøkene er det brukt 3 forskjellige typer overflatebehandling. Det er valgt å bruke forskjellige typer overflatebehandlinger for å få frem hvordan disse beskytter trematerialer ved brann.

#### Hvit brannmaling <sup>1</sup>

Dette er den overflatebehandlingen som er brukt på mesteparten av teststykkene (8 av 12 behandlede teststykker). Det er brukt en innendørsvariant av brannmalingen. Denne malingen er en hvitmaling som isolerer underlaget ved at den ekspanderer når den blir varm. Brannmalingen kan brukes på alle typer innvendig treverk og er derfor ideell for bruk i denne oppgaven. Malingen er klassifisert til B-s1,d0 ifølge DIN EN 13501, som vil si at malingen har begrenset brennbarhet, produserer lite eller ingen røyk og produserer ingen dråper [14].

Påføringen av malingen er ikke gjort profesjonelt, men er gjort i forhold til det tekniske databladet til produktet. I følge databladet skal det minimum påføres 250 g/m<sup>2</sup> og dette kan påføres enten ved malerkost, rulle eller sprøyting, malingen kan påføres ved et enkelt lag og er tørket helt etter 48 timer.

Overflatearealet på teststykkene er beregnet til å være 0,32 m<sup>2</sup> som gir at teststykkene minimum må påføres 80 gram maling. Teststykkene er veid både før og etter påføring av malingen. Etter

---

<sup>1</sup>Navn på produsent er anonymisert, kontakt forfatter for mer informasjon

## Kapittel 3. Eksperimentelt oppsett

---

veining er det vist at det er påført mellom 110 g og 168 g maling, altså mer enn de 80 grammene som er minimum. Tabell 3.1 viser hvor mye som er påført på hvert enkelt teststykke.

**Tabell 3.1:** Mengde hvit brannmaling påført teststykke (tabell utelukker de teststykkene som ikke er påført noe av denne typen brannmaling)

Teststykke	Vegt maling (g)
1	148
2	108
3	145
5	153
6	110
7	141
8	137
9	168

### Klar brannmaling <sup>2</sup>

For et av 3-lags KLT teststykkene er det benyttet en klar brannmaling som er profesjonelt påført av leverandøren. I likhet med den hvite brannmalingen er også denne malingen påført med minimum 250 g/m<sup>2</sup> og den er klassifisert med B-s1,d0. Men den er påført ved sprøyting og ikke ved malerkost.

Denne malingen virker med at den gir et beskyttende lag og at malingen trekker inn i treverket og derav skal minke brennbarheten til materialet.

### Brannhemmende impregnering

Den siste formen for behandling er et nytt og innovativt brannhemmende materiale, som påføres ved bruk av trykkimpregnering. Stoffet er levert av et selskap som heter Martic og holder til i Haugesund. Det brannhemmende stoffet består av flere forskjellige komponenter, men kitosan er hovedkomponenten. Kitosan er en organisk forbindelse som blant annet blir brukt i fotografisk emulsjoner, kosttilskudd og fargelegging av tekstilfiber [19, 20]. Kitosan blir fremstilt av kitin som er å finne iblant annet i skallet til reker, hummer og krabbe, man kan også finne kitin i skjelettet til edderkopper og insekter. I dette tilfellet er det utvinnet fra rekeskall [20, 35].

Siden dette er et stoff som er i prosessen med å bli varemerket og å få klassifiseringer er ikke informasjonen om stoffet offentlig tilgjengelig enda. Det er derfor ikke et spesifikt datablad som kal legges ved. For å verne bedriftens hemmeligheter blir det ikke gått nærmere inn på innholdet i dette stoffet.

---

<sup>2</sup>Navn på produsent er anonymisert, kontakt forfatter for mer informasjon

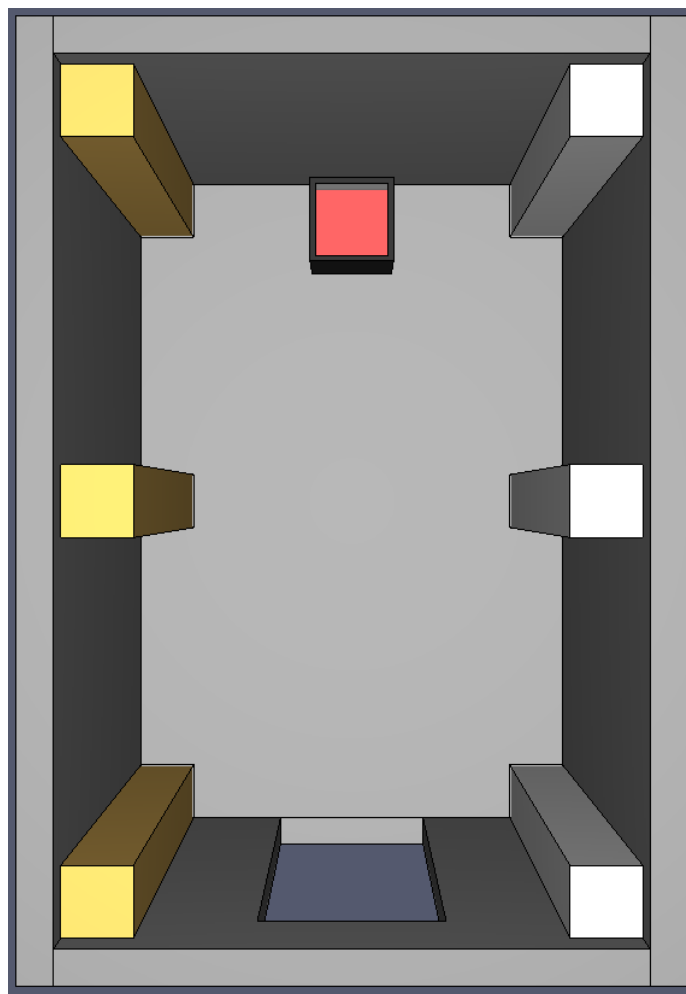
### 3.3 Plassering av sensorer og teststykker

For at testene skal være sammenlignbare er det viktig at både termoelementene og prøvestykkene er plassert så likt som mulig for alle forsøkene.

#### 3.3.1 Teststykker

Det skal utføres parvise sammenligninger av teststykkene, det vil si at teststykkene som skal sammenlignes har like test betingelser. For å oppnå dette er testparene plassert speilvendt ovenfor hverandre. For å utnytte hvert forsøk best mulig og for å ha variabler for de forskjellige parene er det plassert tre par i brannrommet for hver test (PS! Gjelder ikke forsøk 3 ”spesialforsøk”). Plasseringen av teststykkene er illustrert i figur 3.7.

Teststykkene er plassert slik at toppen av teststykkene er 5cm fra toppen av rommet. Teststykker som har blitt overflatebehandlet er plassert på høyre side av rommet (illustrert med hvitt i figur 3.7) og ubehandlede teststykker er plassert på venstre side av rommet (illustrert med gult i figur 3.7).



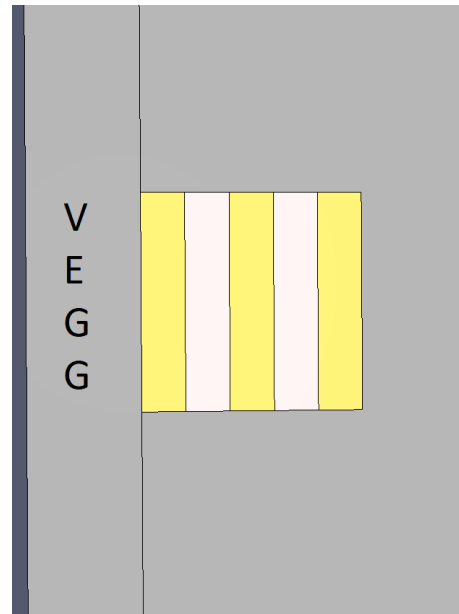
**Figur 3.7:** Plassering av teststykker i 1/3 ISO-rom: hvite teststykker illustrerer behandlede teststykker, gule illustrerer ubehandlede teststykker og rød firkant illustrerer brenneren



## Kapittel 3. Eksperimentelt oppsett

Ved å plassere teststykkene på denne måten vil de ubehandlede teststykkene være plassert speilvendt til de behandlede teststykkene, noe som gjør at teststykkene har like betingelser for en parvis sammenligning. På denne måten er det også forskjellige betingelser for de tre parene som er i rommet. De to teststykkene som er plassert nærmest åpningen vil ikke være utsatt for noe direkte eksponering fra flammene fra brannkilden og de vil være eksponerte sider for brannen fra to sider. De to teststykkene i midten av rommet vil i motsetning til de andre teststykkene være eksponert for brannen fra tre sider, men de vil ha lik avstand til brenner og til åpning og vil av den grunn ikke bli ekstra eksponert for verken flammene fra brenneren eller ventilasjon fra åpningen. De to teststykkene plassert lengst inni rommet vil i likhet med de to fremste bare være eksponert for brannen fra to sider, men disse vil ikke bli like påvirket av ventilasjon fra åpningen og de risikerer direkte eksponering fra flammene fra brannkilden.

Siden det for KLT er vesentlig hvilke retning lamellene går er det passet på at alle teststykkene plassert slik at lamellene er lagt i sideveggs lengde retning som vist i figur 3.8.



**Figur 3.8:** Illustrasjon av lamellretning i forhold til sidevegg, figuren illustrerer teststykke plassert på midten av venstre sidevegg.

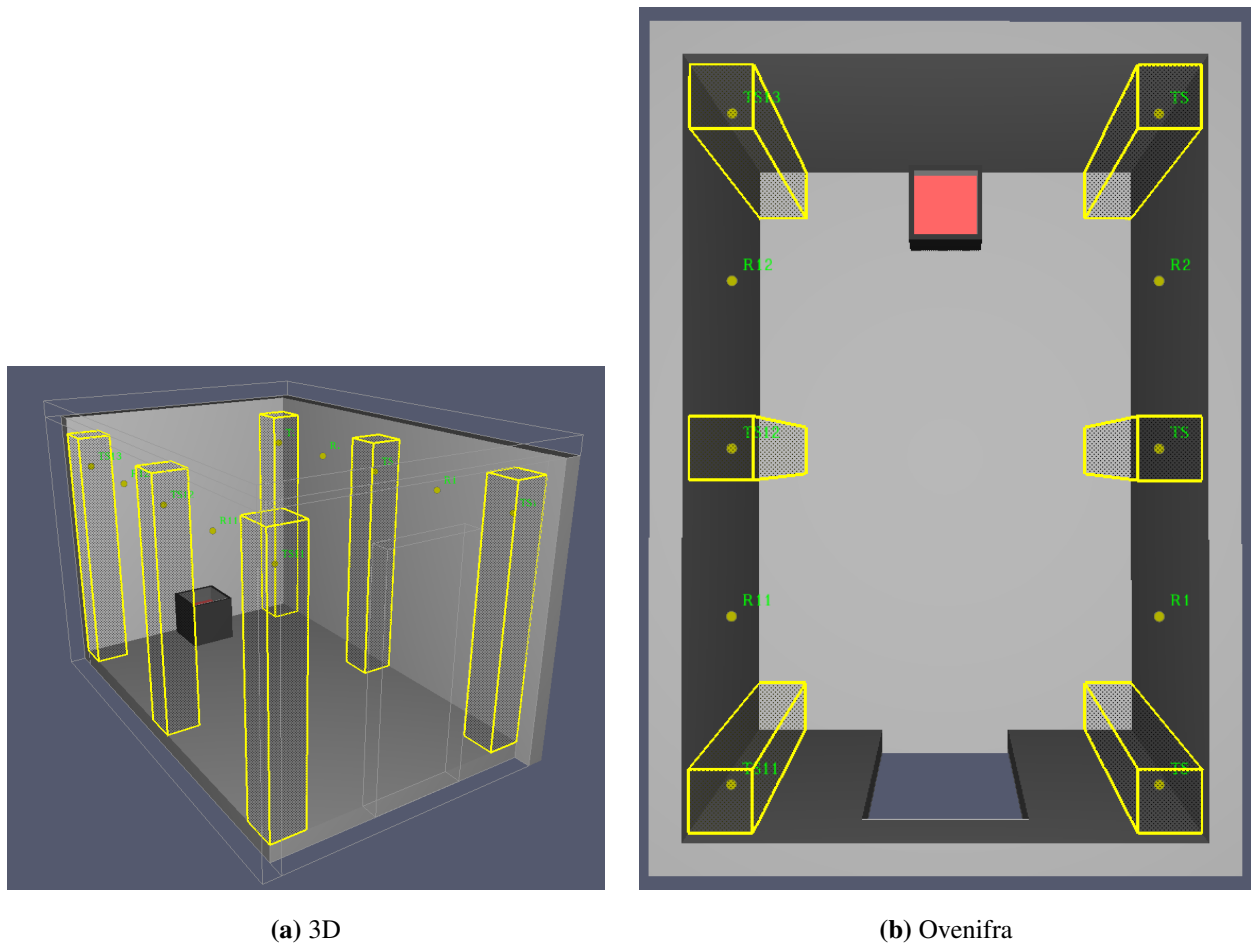
Forsøk 3 ”spesialforsøk” skiller seg fra de andre forsøkene, dette er forsøket hvor de tre teststykkene som er trykkimpregnert med det brannhemmende stoffet blir testet. Det er i dette forsøket ikke er en parvis sammenligning av behandlet og ubehandlet, men istedenfor er det tenkt generelle observasjoner og sammenligning med de andre forsøkene (sammenligner da teststykker med lik plassering). Det er derfor her bare plassert tre teststykker i brannrommet, disse tre teststykkene er plassert likt som de behandlede teststykkene i figur 3.7 og det er ikke plassert noen teststykker på den andre siden av rommet. Disse teststykkene er også lavere enn de andre teststykkene og er derfor plassert på pidestaller for at toppen av teststykket skal være 5 cm fra taket i rommet.

### 3.3.2 Sensorer

I forsøkene er det bare en type sensorer som blir brukt og det er termoelement. Disse termoelementene logger temperaturen digitalt hvert 5 sekund.

Termoelementene blir brukt til å måle romtemperaturen og temperaturen inn teststykkene. De termoelementene som måler romtemperaturen er plassert likt for alle forsøkene, men termoelementene som måler temperaturen i teststykkene varierer utefra tykkelsen på teststykkene. Alle termoelementene er plassert 10 cm under taket i brannrommet. De fire termoelementene som er plassert i rommet er plassert midt mellom teststykkene, 10 cm fra taket og 5 cm fra sideveggene. Termoelementene som er plassert inni teststykkene er plassert 5 cm fra toppen av teststykket og er boret

inn slik at de er 5 cm fra overflaten som vender inn i rommet, det vil da si 5 cm inn fra baksiden for 5-lags KLT, 4 cm inn fra baksiden for 3-lags KLT og 1,5 cm fra baksiden for teststykkene av furu. Plasseringen av romsensorer og sensorer for 5-lags KLT er illustrert i figur 3.9. Alle sensorene er ført inn i rommet gjennom hull som er boret fra utsiden av rommet. Sensorene som er plassert inni teststykkene er også ført inn via en kanal som er boret i teststykkene.



**Figur 3.9:** Illustrasjon av plassering av sensorer for temperaturmåling i 1/3 ISO-rom, vist i 3D (a) og ovenfra (b). Sensorer markert med R representerer sensorer plassert i rommet, mens sensorer markert TS er sensorer som er boret inn i teststykkene

Både sensorene for måling av romtemperatur og for måling av innvendig temperatur er plassert på samme høyde for å sikre at målingene er gjort på samme grunnlag. Ved å plassere sensorene som er inn teststykkene og i rommet på samme høyde som der hvor teststykkene blir kuttet for å måle forkullingsdybden, sikrer man at temperaturene er relevant i forhold andre resultater.

### 3.4 Oppbygging av forsøkene

Til denne oppgaven er det utført 4 forsøk med totalt 21 teststykker. Alle forsøkene er utført i samme brannrom (som er beskrevet i kapittel 3.1) og det er brukt samme gassmengde i 3 av forsøkene, i siste forsøket ble gassmengden redusert med 1/3 for å se om dette hadde innvirkning på temperaturen i brannrommet og derav også videre innvirkning på forkullingsdybden og massetap. I forsøk 1, 2 og 4 er det 6 prøvestykker i brannrommet og i forsøk 3 er det 3 prøvestykker i brannrommet.

Siden forsøkene er bygget opp slik at to og to prøvestykker skal sammenlignes, så er teststykkene nummerert slik at teststykke 1 og 11 er et par, teststykke 2 og 12, teststykke 3 og 13 er et par... osv<sup>3</sup>. I tabell 3.2 så er det laget et sammendrag av viktig informasjon om teststykkene, dette er gjort for å lettere kunne se forskjeller og likheter på forsøkene.

**Tabell 3.2:** Oppsummering av informasjon om teststykkene

Forsøk nr	Teststykke nr	Overflatebehandlign	Type tre	Dimensjoner (b*d*h)	Mengde gass
1	1	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	11	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	2	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	12	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	3	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	13	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
2	4	Annen brannmaling	3-lags KLT av gran	10cm*9cm*75cm	1,23g/s
	14	Ubehandlet	3-lags KLT av gran	10cm*9cm*75cm	1,23g/s
	5	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	15	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	6	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
	16	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	1,23g/s
3	spesial 1	Brannhemende trykkimpignerng	Furu	8,5cm*6,5cm*25cm	1,23g/s
	spesial 2	Brannhemende trykkimpignerng	Furu	8,5cm*6,5cm*25cm	1,23g/s
	spesial 3	Brannhemende trykkimpignerng	Furu	8,5cm*6,5cm*25cm	1,23g/s
4	7	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	0,82g/s
	17	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	0,82g/s
	8	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	0,82g/s
	18	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	0,82g/s
	9	Hvit brannmaling	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	0,82g/s
	19	Ubehandlet	5-lags KLT av gran	10cm*10cm*75cm	0,82g/s

<sup>3</sup>Unntaket er forsøk 3 hvor teststykkene er nummerert spesial 1, 2 og 3. Siden det ikke er en parvis sammenligning for forsøk 3

## 3.5 Gjennomføring av forsøkene og målinger

Gjennomføringen av forsøkene var så lik som det var praktisk mulig utføre. Selve gjennomføringen kan deles inn tre deler, hvor del en er forberedelse, del to er utførelse og del tre er etterarbeid.

### 3.5.1 Del 1: Forberedelser

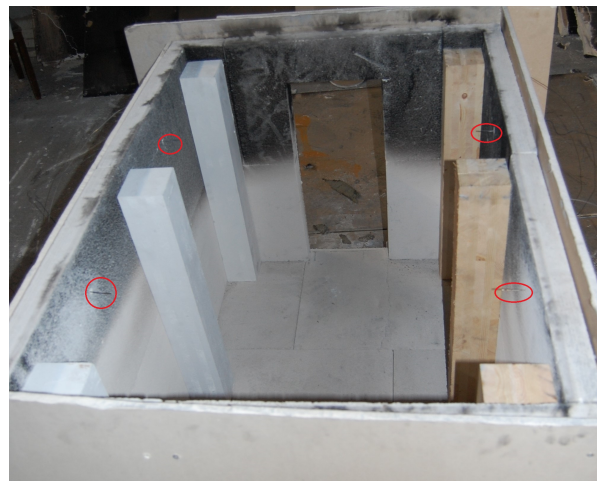
Før forberedelsene for hvert enkelt forsøk ble det gjort felles forberedelser for alle forsøkene. Først ble alle teststykkene kuttet til riktig høyde. Deretter ble alle teststykkene veid og nummerert, før det ble påført brannhemmende maling på 8 av teststykkene. De 8 teststykkene som ble påført brannmaling fikk så tørke, etter bruksanvisningen til malingen, før de igjen ble veid for å finne ut mengden maling som var påført.

Etter alle teststykkene var klargjort begynner forberedelsene av brannrommet og plassering av teststykkene.

Teststykkene ble plassert i rommet, forklart i kapittel 3.3, og termoelementen som skulle inn i teststykkene ble tredd inn i hull boret i teststykkene. Teststykkene ble så festet til veggen ved hjelp av en skrue fra utsiden, plassert på midten av teststykket (plasseringen på denne er ikke helt lik for alle teststykkene, men siden den er så langt unna målepunktet vil den ha liten innvirkning på målingene). Termoelementene for måling av romtemperatur ble plassert 5 cm fra veggen. Oppsettet så lang kan ses i figur 3.10.



(a) Gjennomføring av termoelementer og skruefest til teststykker. Viser gjennomføring/feste fra utsiden.



(b) Oppsett innvendig, med rød sirkel rundt termoelementer for måling av romtemperatur. Hvite teststykker til venstre på figuren er behandlet, teststykkene til høyre er ubehandlet.

**Figur 3.10:** Figur a og b viser oppsett før tak blir plassert, bildene er tatt før gjennomføring av forsøk 1

Etter termoelementer og teststykker var plassert, ble det plassert isolasjon på toppen av veggene (for ekstra isolasjon) og taket ble lagt på. opp på taket ble det også plassert ekstra vekt for å sikre at det tettet mest mulig. Bilde med plassert tak kan ses i figur 3.11



**Figur 3.11:** Brannrom med tak og ekstra vekt på taket

Den siste delen av forberedelsene før gass ble påskrudd og antent, var oppkobling av gass til brenneren. Rør fra brenneren og tilkobling av gasslange er tidligere vist i figur 3.4. Denne oppkoblingen ble bare gjort før forsøk 1, oppkoblingen var deretter uendret frem til siste forsøk var ferdig gjennomført. Som sikkerhetstiltak var det to hoved-stengeventiler og en nød-stengeventil i tillegg til reguleringsventilen for gassmengden. Disse ventilene ble ikke åpnet før en tennbrikett var plassert i gassbrenneren og det var klart til å forsøksstart.

### 3.5.2 Del 2: Utførelse

Etter forberedelsene (del 1) var ferdige, ble det plassert en påtent tennbrikett i gassbrenneren, så ble hoved-stengeventiler og nød-stengeventiler åpnet (reguleringsventil holdes fortsatt stengt). På denne måten ble det også undersøkt at det ikke var noe lekkasje i ventilen, for da ville det blitt oppdaget flammer utenom den påtente tennbriketten i rommet.

Når ventilene var åpnet, startes pc-loggingen. Reguleringsventilen ble stilt til ønsket gassmengde (gassmengde på 1,23 g/s for forsøk 1, 2 og 3 og en gassmengde på 0,82 g/s for forsøk 4). Reguleringsventilen ble holdt på denne gassmengden i 20 minutter før den ble stengt igjen. Under disse 20 minuttene ble det tatt diverse bilder for å dokumenter gjennomføringen, eksempler kan ses i figur 3.12. Det ble også jevnlig kontrollert at pcen logget temperaturer fra termoelementene, om det ikke var korrekt logging ble termoelement erstattet mens forsøket pågikk, termoelementene ble erstattet ved å trekke ut det defekte og tre et nytt termoelement inn i det samme hullet som den defekte ble tatt ut av.



**Figur 3.12:** Bilder tatt under forsøkene, viser full overtenning av rommet

Etter at reguleringsventilen var blitt stengt, sto prøvestykkene til avkjøling i rommet med taket på, tiden lokket var på varierte fra forsøk til forsøk. En oversikt over når taket til brannrommet ble tatt av og hvor lenge loggingen varte for hvert forsøk er vist i 3.3.

**Tabell 3.3:** Oversikt over når taket til brannrommet ble tatt av og hvor lang tid loggingen varte for hvert av forsøkene. Tiden er regnet fra at 0 min er tiden når gasstilførselen startet.

Forsøk nr	Tak av	Logging stoppet
1	52 min	100 min
2	110 min	160 min
3	45 min	70 min
4	43 min	70 min

### 3.5.3 Etterarbeid

Det som blir regnet som etterarbeid er alt som skjer etter loggingen avsluttes. Dette inkluderer lagring av teststykker i og utenfor brannrom, utførsel av veiing av teststykkene og utførsel av måling av forkullingsdybde.

Etter avsluttet logging sto teststykkene for avkjøling i brannrommet, avkjølingen i rommet varte ca. 2,5 timer etter gassen var avskrudd, før teststykkene ble videre avkjølt i ca. 2 timer i utetemperatur som var på ca.  $-4^{\circ}\text{C}$ <sup>4</sup>. Prøvestykkene ble tatt ut og lagt på en slik måte at de var upåvirket av været.

<sup>4</sup>Dette gjelder ikke forsøk 2, i dette forsøket ble prøvestykkene avkjølt i brannrommet uten lokk over natten.

## Kapittel 3. Eksperimentelt oppsett

### Veiing av teststykker

Etter prøvestykkene var avkjølt, ble de igjen veid for å kunne finne massetapet. Se figur 3.13

### Måling av forkullingsdybde

Etter at teststykkene var veid ble forkullingsdybden målt. Før måling av forkullingsdybde ble gjort ble teststykkene sagt i to 5 cm fra toppen av teststykket.

Forkullingsdybden inkluderer den delen av teststykket som er helt brent vekk i tillegg til hvor langt inn forkullingen er i teststykket. Forkullingsdybden ble målt ved å måle hvor mye av teststykket som ikke er forkullet og trekker det fra den originale størrelsen på teststykket. Figur 3.14 viser måling av forkullingsdybde i to retninger på samme teststykke, i figur (a) Tverrsnitt 1 kan man se at det er 8,5 cm som ikke er forkullet og siden man vet at teststykket originalt var 10 cm så blir forkullingsdybden 1,5 cm. Det samme er gjort for figur (b), der ser man at området som ikke er forkullet er på 7 cm, altså er forkullingsdybden 3 cm.



**Figur 3.13:** Veiing av teststykke etter forsøk



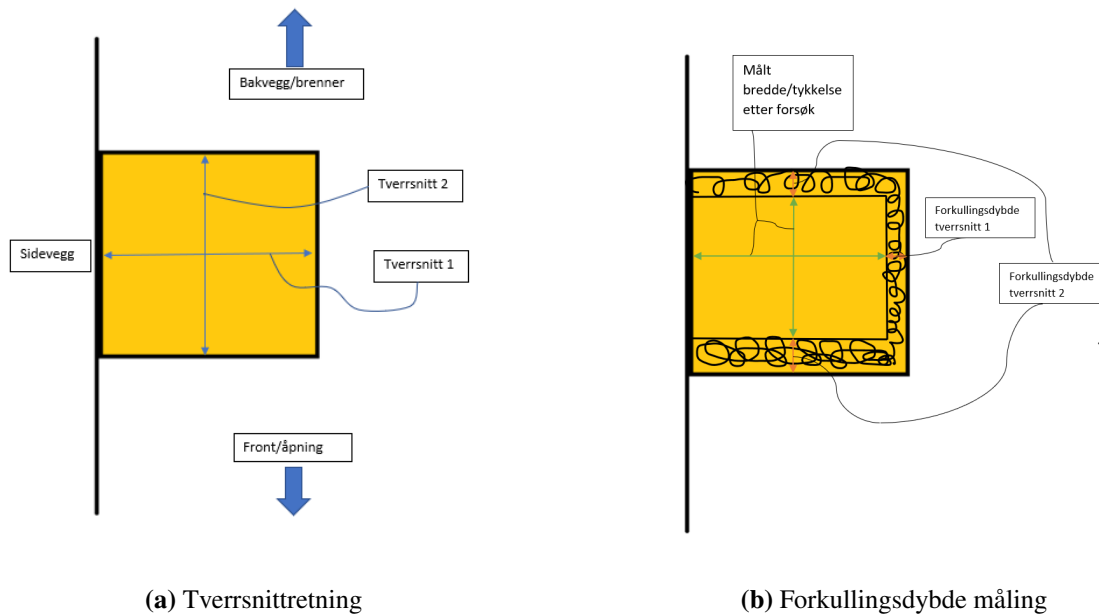
(a) Tverrsnitt 1



(b) Tverrsnitt 2

**Figur 3.14:** Måling av forkullingsdybde, hvor tverrsnitt er målt fra bakvegg og tverrsnitt 2 er målt fra side til side.

Figur 3.15 (a) illustrerer et ubrent teststykke og viser hvilke retning tverrsnitt 1 og 2 ble målt i forhold til rommet. Figur 3.15 (b) illustrerer et teststykke etter brenning og viser hva som er forkullingsdybden og hva som er målt for å finne forkullingsdybden, hvor skravert område illustrerer forkullet område.



**Figur 3.15:** Figur a illustrerer hvilke retning tverrsnittene går. Figur b viser hva som er forkullingsdybde etter forsøk og hva som er målt

Den målte forkullingsdybden ble avlest fra bilder som ble tatt med måleverktøy som vist i fig 3.14, hvert bilde ble manuelt avlest og forkullingsdybde ble notert.





I dette kapittelet blir relevante resultater fra forsøkene presentert.

## 4.1 Nummerering av forsøk

Før resultatene presenteres blir det gitt en forklaring på nummereringssystemet som er brukt for forsøkene og teststykkene. Dette er for å gjøre det lettere å kunne lese av grafer, tabeller og figurer.

Tabell 3.2 gir en oppsummering av hvilke teststykker som tilhører hvilke forsøk, hvilke overflatebehandling teststykkene har, hvilke type tre som er testet, gass mengde brukt under testen og dimensjonene på teststykkene. Det er også fire termoelementer i rommet som er nummerert R1, R2, R11 og R12 som vist i 3.9. Forsøkene blir nummerert med (F1), (F2), (F3) og (F4). Som da gir at termoelement R1 i forsøk 1 blir R1(F1), termoelement 12 i forsøk 3 blir R12(F3) osv. Samme logikk er brukt i nummereringen for teststykkene. I tabell 3.2 kan man se for eksempel teststykke 5 er nummerert TS5(F2), da står TS for teststykke og F for forsøk. Dette er et nummereringssystem for å gjøre det lettere å referere til spesifikke teststykker. Teststykkene i test 3 blir kalt spesial 1, 2 og 3, da disse er trykkimpregnert og har dermed andre egenskaper enn de andre teststykkene.

I de kommende delkapitlene blir resultatene for forkullingsdybde, massetap, romtemperatur og innvendig temperatur presentert. Når det skal ses på forkullingsdybde i for eksempel teststykke 5 og 15 så kan det ses at disse er plassert sammen i tabell 4.1, det samme gjelder for massetap i tabell 4.2.

## 4.2 Forkullingsdybde

Tabell 4.1 gir en oversikt over resultatene av den målte forkullingsdybden. Hvor testnummer er hvilke forsøk teststykket tilhører, altså er for eksempel teststykker 1, 2, 3, 11, 12 og 13 utført i forsøk nr 1.

I oversikten er det regnet ut prosentvis forkullingsdybde, den prosentvise forkullingsdybden er ikke ment å bruke for å sammenligne teststykker av forskjellig størrelse men for å bedre vise hvor stor andel av hvert teststykke som er blitt forkullet.

**Tabell 4.1:** Resultater for målt forkullingsdybde, hvor tverrsnitt 1 er målt fra baksida av teststykke og tverrsnitt 2 er målt på tvers av teststykke. Tverrsnittet er sagd 5 cm fra toppen av teststykket.

Forsøk nr	Teststykke	Forkullingsdybde			
		Tverrsnitt 1 (målt fra bakvegg)[cm]	Tverrsnitt 1 (målt fra bakvegg)[%]	Tverrsnitt 2(målt fra side[cm])	Tverrsnitt 2(målt fra side)[%]
1	1	1,2	12,0	1,5	15,0
	11	1,7	17,0	2,3	23,0
	2	1,5	15,0	3,5	35,0
	12	2,5	25,0	4,0	40,0
	3	2,0	20,0	1,1	11,0
	13	2,5	25,0	2,0	20,0
2	4	2,2	24,4	2,2	22,0
	14	3,0	33,3	2,7	27,0
	5	1,4	14,0	2,5	25,0
	15	4,8	48,0	6,0	60,0
	6	2,4	24,0	1,3	13,0
	16	10,0	100,0	10,0	100,0
4	7	1,2	12,0	1,3	13,0
	17	3,4	34,0	2,5	25,0
	8	2,3	23,0	3,0	30,0
	18	10,0	100,0	10,0	100,0
	9	2,2	22,0	1,5	15,0
	19	3,2	32,0	2,5	25,0
3	spesial 1	1,5	23,1	1,0	11,8
	spesial 2	1,7	26,2	2,2	25,9
	spesial 3	1,7	26,2	1,2	14,1

Det er ikke målt forkullingsdybde på teststykke 16 og 18. Teststykke 16 ble avkjølt over natten, men det var oppstått ulmebrann i teststykket som førte til at ønsket sted å måle var vekk brent. I teststykke 18 var det oppstått ulmebrann som førte til at teststykket var så gjennomforkullet at det var vanskelig å lese av forkullingsdybde. Gjennomforkullingen av teststykke 16 og 18 er vist på figur 4.1.



(a) Teststykke 16



(b) Teststykke 18

**Figur 4.1:** Del a og b viser at teststykkene 16 og 18 er så gjennomforkullet at det er umulig å lese av forkullingsdybde i ønsket høyde. Del a viser at toppen av teststykke 16 er helt bort brent. Del b viser at teststykke 18 er så gjennomforkullet at det er vanskelig å lese av forkullingsdybde med en akseptabel feilmargin.

### 4.3 Massetap

Siden teststykkene er veid før og etter forsøkene er det enkelt å finne det totale massetapet. Tabell 4.2 er oversikt over massetapet for hver enkelt teststykke. Massen før er vekten på hvert prøvestykke før forsøkene (inkludert vekten av påført maling), masse etter er vekten av prøvestykkene etter forsøk, massetap er vekten før forsøk minus vekten etter forsøk og vekt maling er hvor mye vekten av den påførte brannmalingen utgjør av massen før forsøkene. Vekt maling er kun med på de prøvestykkene som er behandlet med den hvite brannmalingen, dette er fordi denne er påført selv. Siden ikke alle teststykkene har den samme massen er det også regnet ut et dimensjonsløst massetap, dette er da prosentvis hvor mye lavere massen er etter forsøket i forhold til før og er regnet ut ved å bruke formel 4.1.

$$\frac{m_{\text{før}} - m_{\text{etter}}}{m_{\text{før}}} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

Kapittel 4. Resultater
 

---

**Tabell 4.2:** Oversikt over masse før og etter forsøkene for hvert enkelt prøvestykke, inkludert masse påført maling for teststykkene som er overflatebehandlet selv.

Teststykke	Masse før (g)	Masse etter (g)	Massetap (g)	Massetap (%)	Vekt maling (g)
1	3698	3072	626	17	148
11	3617	2555	1062	29	-
2	3540	2392	1148	32	108
12	3454	1779	1675	48	-
3	3690	2845	845	23	145
13	3585	2425	1160	32	-
4	2785	1781	1004	36	-
14	2857	1710	1147	40	-
5	3560	2217	1343	38	153
15	3577	1603	1974	55	-
6	3546	2662	884	25	110
16	3534	1535	1999	57	-
7	3522	2925	597	17	141
17	3558	2166	1392	39	-
8	3618	2165	1453	40	137
18	3490	1317	2173	62	-
9	3727	2569	1158	31	168
19	3595	2048	1547	43	-
spesial 1	1126	800	326	29	-
spesial 2	1090	612	478	44	-
spesial 3	1115	707	408	37	-

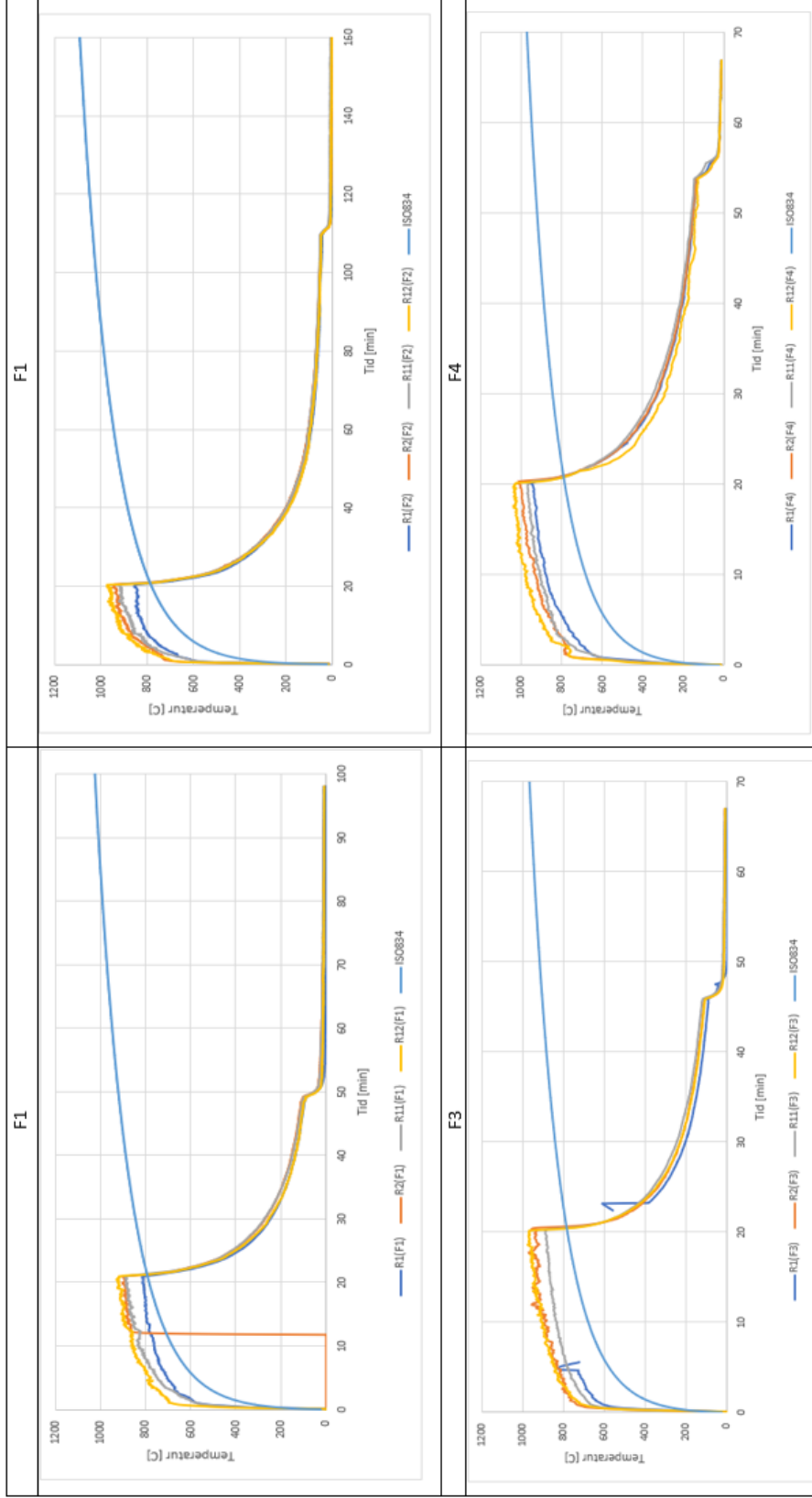
## 4.4 Temperaturer

Under forsøkene er det ved hjelp av termoelementer målte temperaturer i rommet og inni teststykkene. Plassering av termoelementen er beskrevet i kapittel 3.3. Dette delkapittelet viser resultatene for både innvendig temperatur i teststykkene og temperaturen i rommet. Det er også en egen del kapittel om "spesialforsøk 3" siden dette skiller seg ut fra de andre forsøkene.

Alle grafene som blir vist er justert slik at tiden 0 min er tiden hvor gasstilførselen til brenneren starter, det er dette som blir regnet som nullpunktet for tidsberegningene, siden all logging før dette ikke er av viktighet for resultatene. Tid for når taket er tatt av og logging er avsluttet er også justert slik at de korresponderer med dette nullpunktet.

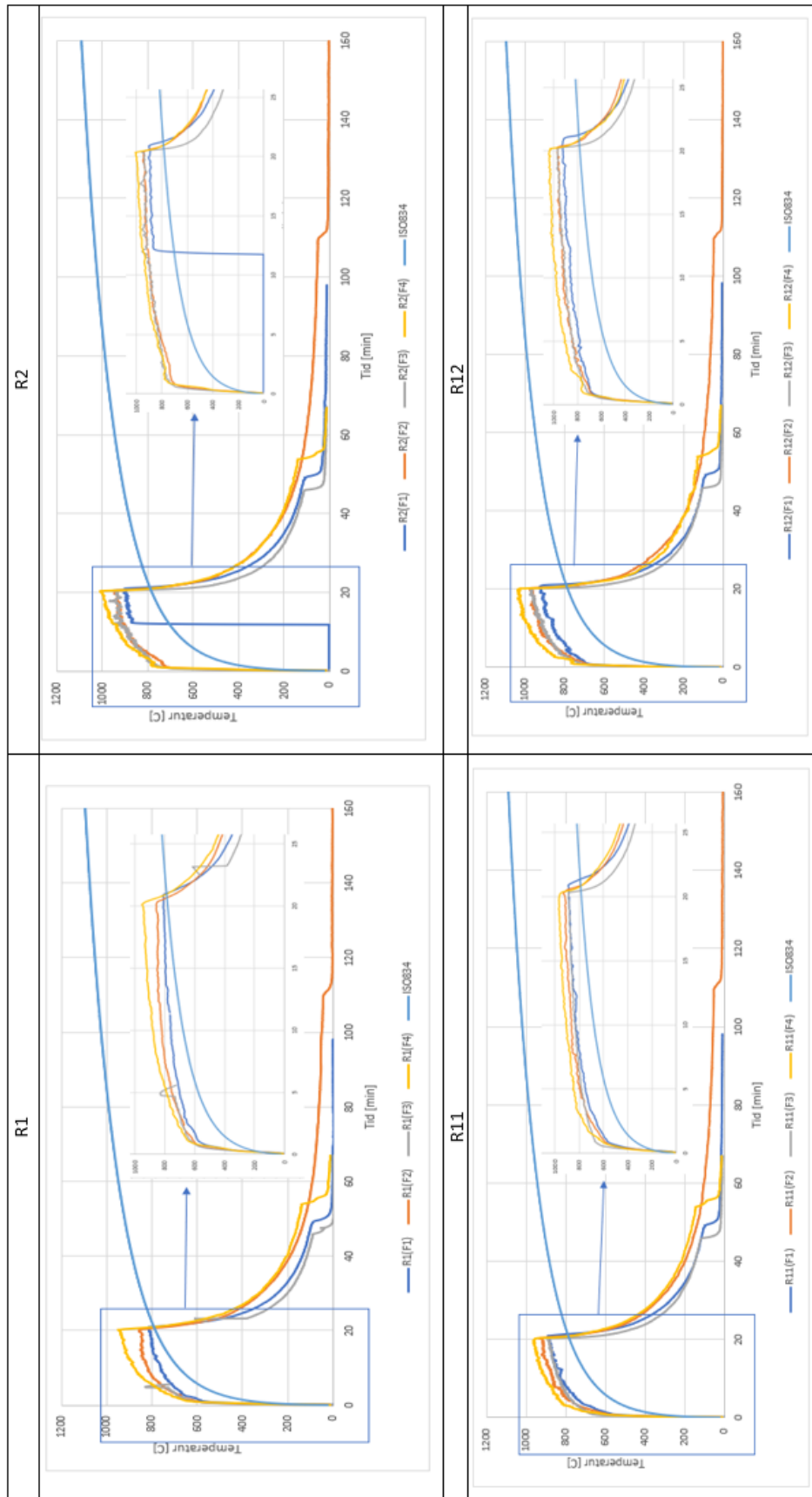
#### 4.4.1 Temperatur i brannrom

For alle forsøkene er det 4 termoelementer som er plassert i rommet som vist i 3.3, disse er for å måle at det er tilstrekkelig temperatur i rommet mens brenneren er på. I figur 4.2 og 4.3 er resultatene fra disse termoelementene fremvist.



**Figur 4.2:** Temperaturen for alle 4 termoelementene i brannrommet sortert etter forsøk, figur F1 er forsøk 1, F2 forsøk 2, F3 forsøk 3 og F4 forsøk 4. Blå ISO-graf, er en standard brannkurve, for referanse i forhold til en standardbrann. Det var gasstilførsel i rommet de første 20 minuttene. Termoelement R2(F1) var defekt i starten og ble byttet ut etter ca. 10 min. Termoelement R1(F3), mistet tilkobling etter ca. 10 min og ble byttet ut etter ca. 25 min. OBS! tiden på y-aksen er ikke lik i alle figurene.

## Kapittel 4. Resultater



**Figur 4.3:** Temperaturen for alle 4 termoelementene i brannrommet sortert etter termoelement, figur R1 viser temperatur for termoelement R1 for alle forsøkene, R2 viser for termoelement R2, R11 for termoelement R11 og R12 for termoelement R12. Blå ISO-graf, er en standard brannkurve, for referanse i forhold til en standardbrann.

Figur 4.2 og 4.3 viser temperaturene for de 4 termoelementene plassert i rommet, hvor figur 4.2 viser alle 4 termoelementene i rommet for samme forsøk, mens figur 4.3 er inndelt i hver sensor og viser derfor alle 4 forsøkene i hver graf. For alle grafene er det også lagt inn en standard tid-temperaturkurve for å vise temperaturene i forhold til en standard testemetode.

Grafene inkluderer også romtemperaturen for ”spesialforsøk 3” (Vist som F3 i 4.2, og alle linjer markert med F3 i figur 4.3), dette er fordi det er ønskelig å vise at romtemperaturen under dette forsøket er i samme størrelsesorden som ved de andre forsøkene. Siden eneste forskjellen er mengden brennbart materiale inni rommet anses det at dette ikke skal ha vesentlig påvirkning på temperaturen i brannrommet.

Når man ser på temperaturene i brannrommet som er vist i figur 4.2 og 4.3 kan man se at det er 50-100 °C lavere temperatur for termoelement R1 og R11, som er termoelementene fremme i rommet, i forhold til R2 og R12, som er termoelementene bak i rommet, noe som utgjør en forskjell på 4-10 %.

Ser man på ubehandlet side mot behandlet side, termoelement R1 mot R11 og R2 mot R12, ser man at det gjennomsnittlig er en forskjell på 22 °C.

Om hvert termoelement sammenlignes for hvert forsøk ser man at det er en forskjell i maks temperatur for forsøket med lavest brannromtemperatur og forsøket med høyest brannromtemperatur er på 137 °C grader for R1 fra, 75 °C for R11, 104 °C for R2 og 108 °C for R12.

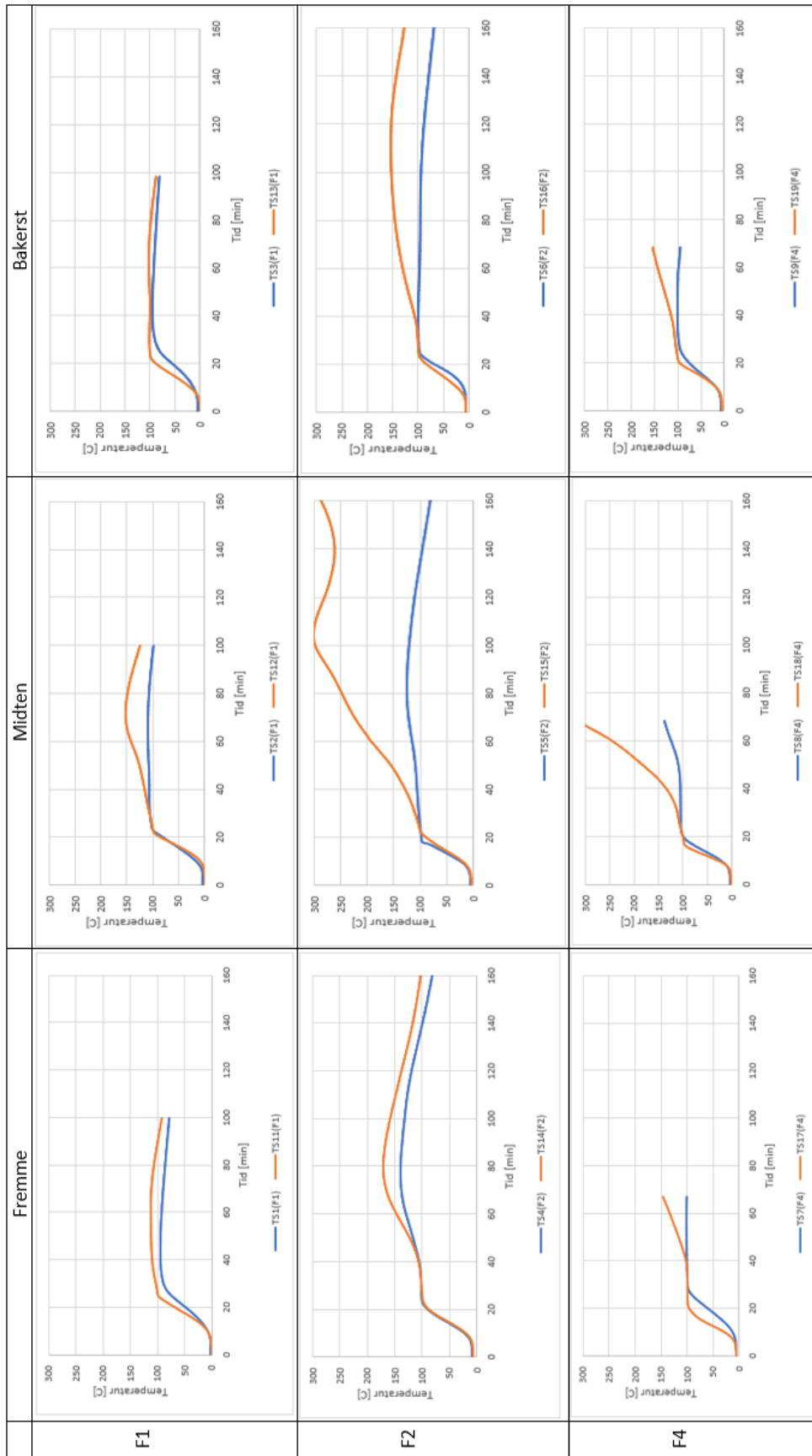
#### 4.4.2 Temperatur inni teststykkene

Det er også målt temperatur 5 cm fra overflater i alle teststykkene. I figur 4.4 er det vist parvise resultater for de målte innvendige temperaturene for forsøk 1, 2 og 4, forsøk 3 er utelatt siden dette er et spesialtilfelle og er vist for seg selv neste avsnitt. Figuren er delt opp slik at figurene i første er teststykkene som er plassert i hjørnene nærmest åpningen (fremme i rommet), andre kolonne er teststykkene som er plassert langs veggen i midten av rommet og tredje kolonne er teststykkene som var plassert i hjørnene nærmest brenneren (bakerst i rommet). Rad 1 er forsøk 1, rad 2 forsøk 3 og rad 3 forsøk 4. I alle grafene er oransje linje det ubehandlede teststykke blå det behandlede teststykket. For å kunne se likheter/forskjeller i grafene i figur 4.4 så er x- og y-aksen satt til like verdier, selv om logging for forsøk 1 og 4 er betraktelig kortere enn for forsøk 2. Stopp på grafene er der hvor loggingen avsluttet.

Fra de 9 grafene i figur 4.4 ser man at det er generelt lik oppførsel i starten, temperaturen stiger jevnt frem til rundt 100 °C. Etter dette er det noe forskjell i oppførselen, for de behandlede teststykkene (blå linje) flater temperaturen ut før den gradvis synker og derav viser at teststykkene går mot selvslukking. Noen av de behandlede teststykkene (som f.eks. TS4(F2)) har en liten stigning i avkjøling fasen (fasen etter at brenneren er slått av), men denne stigningen blir sett på som så liten i de behandlede teststykkene at de fortsatt blir regnet som jevn eller synkende. Eneste unntaket er TS8(F4), hvor stigningen i temperatur blir sett på som signifikant. For de ubehandlede teststykkene (oransje graf) er det varierende oppførsel i avkjøling fasen. Noen oppfører seg likt som de behandlede teststykkene (som f.eks. TS11(F1)) og har en jevn/synkende temperatur, mens for noen flater temperaturen ut før den igjen stiger (som f.eks. TS17(F4)) noe som indikerer ulmebrann eller begynnende ulmebrann.



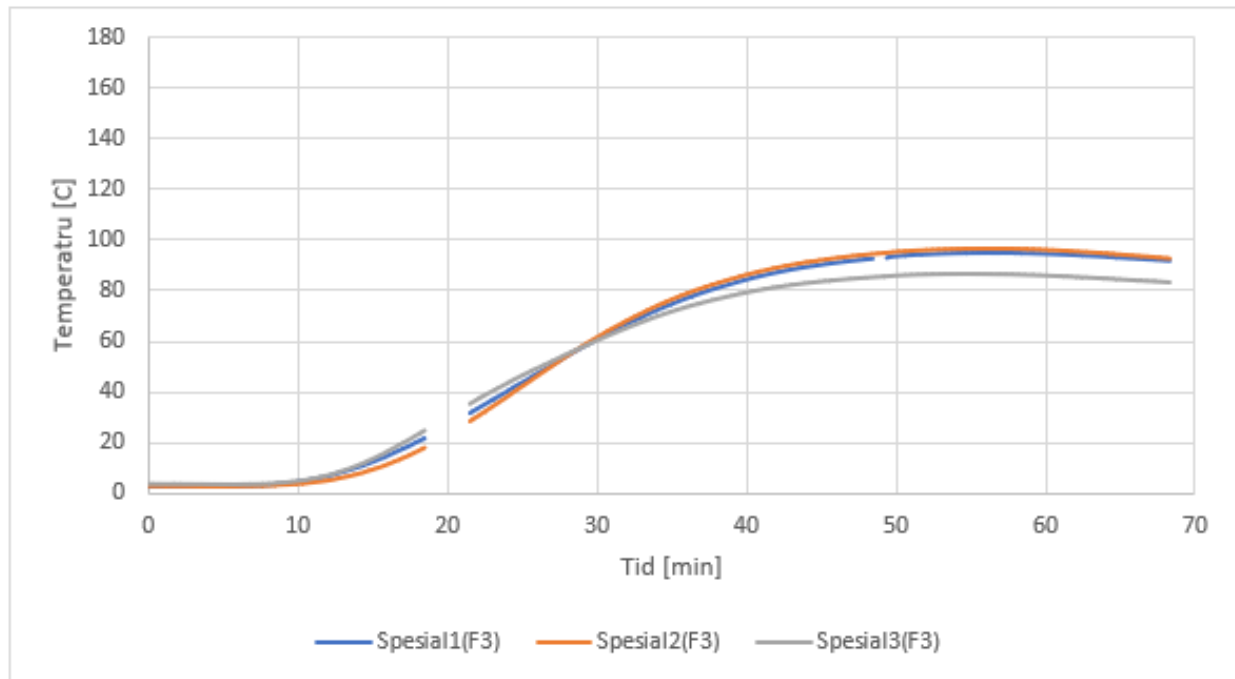
## Kapittel 4. Resultater



**Figur 4.4:** Figuren viser innvendig temperatur for de totalt 9 testparene i forsøk 1, F2 forsøk 2 og F4 forsøk 4. Fremme, midten og bak indikerer posisjonen testparet hadde i rommet. Oransje linje er ubehandlede teststykker og blå linje er behandlede teststykker.

### 4.4.3 Forsøk 3 ("spesialforsøk")

Temperaturen i brannrommet for forsøk 3 er allerede vist i figur 4.2 og 4.3. Men temperaturen inni teststykkene ble ikke inkludert i forrige avsnitt siden det for disse ikke er en parvis sammenligning. I figur 4.5 er den innvendige temperaturen for de tre spesialteststykkene vist.



**Figur 4.5:** Innvendig temperatur for teststykker i forsøk 3 "spesialforsøk". Spesial 1 er nærmest åpningen, spesial 2 i midten av rommet og spesial 3 nærmest brenneren. Ved 18 - 22 min stoppet loggingen og det mangler derfor data for denne perioden, ved 48 min ble termoelement spesial(f3) defekt, men ble erstattet nesten umiddelbart.

Grafen for spesial teststykkene er også satt for seg selv fordi den har en litt annen oppførsel en teststykkene i forsøk 1, 2 og 4. For alle de tre spesial teststykkene så er det en periode på 10 min før temperaturen begynner å stige, temperaturen fortsetter så å stige jevnt forbi 20 min, når gassen ble slått av. Temperaturstigningen begynner å minke rundt 35 min og ca. 70 °C, temperaturstigningen minker gradvis frem til temperaturen når rundt 90 °C ved 50 min, etter dette jevner temperaturen seg ut og begynner å synke.

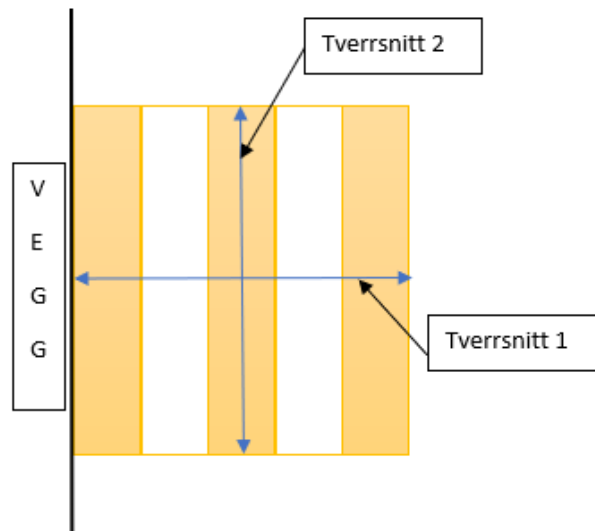


I dette kapittelet blir resultatene fra forsøkene diskutert. Viktige spørsmål om hvilke innvirkning temperaturen har, om det er vesentlige forskjeller i forkullingsdybde og massetap. Det blir også diskutert hvordan resultatene fra forsøkene kan knyttes opp mot dagens regelverk.

## 5.1 Forkullingsdybde

Forkulling isolerer termisk og beskytter dermed mot utvendig brann påkjenning, forkullingen viser hvor mye av treet som ikke lengre er intakt. Dette gjør at forkullingsdybde er en viktig parameter når man bygger i tre.

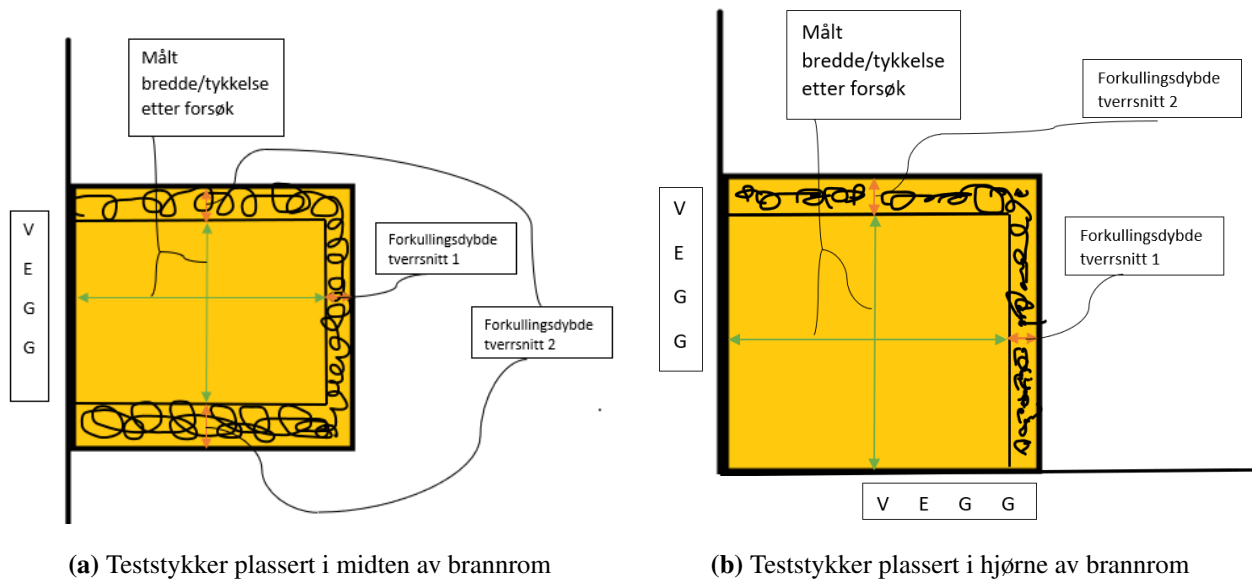
Forkullingsdybden ble målt i to tverrsnitt, hvor tverrsnitt 1 går på tvers av lamellene og tverrsnitt 2 går på langs av lamellene, som vist i figur 5.1. Lamellretningen kan påvirke forkullingshastigheten, spesielt om delaminering forekommer. Tverrsnitt 2 blir ikke utsatt for delaminering på lik linje som tverrsnitt 1. Tverrsnitt 1 blir ansett som den viktigste, siden det er den retningen en KLT vegg vil bli eksponert ved i en reell situasjon. Tverrsnitt 2 vil være mer relevant for søyler, siden disse vil være eksponert fra alle både på langs og på tvers av lamellene.



**Figur 5.1:** Illustrasjon av tverrsnitt retning i forhold til lamellene, sett ovenifra.

## Kapittel 5. Diskusjon

En annen faktor som påvirker forkullingen, er hvor mange sider som er eksponert for brannen. Teststykker plassert i midten av rommet er eksponert fra 3 sider mens teststykker plassert i hjørner er eksponert fra 2 sider. Dette er vist i figur 5.2.

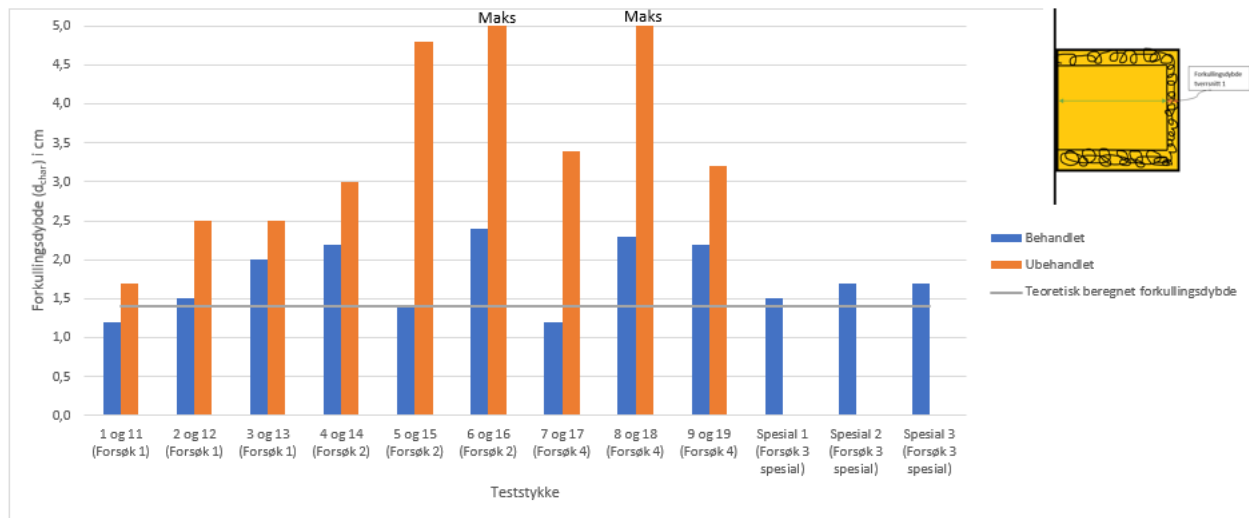


**Figur 5.2:** Illustrasjon av forskjell på teststykker plassert i hjørne kontra teststykker plassert i midten av brannrommet, med tanke på forkullingsdybde. Del a illustrer teststykke plassert i midten og del b illustrerer teststykke plassert i et hjørne. Figuren er sett ovenifra.

For teststykkene i midten av rommet hvor tverrsnitt 2 er eksponert fra to sider forventer man en større forkullingsdybde enn for eksponering fra en side. Men den tosidige eksponeringen for tverrsnitt 2 kan også føre til større forkulling i tverrsnitt 1, fordi det totalt er mer overflate som er eksponert for brannen. Men for forsøkene utført i denne oppgaven er dette vanskelig å vurdere om den ekstra eksponeringen for tverrsnitt 2 vil påvirke tverrsnitt 1. Teststykkene som har tosidig eksponering har andre plasseringer i brannrommet enn de med 3 sidig eksponering, derfor er ikke disse teststykkene direkte sammenlignbare.

Figur 5.3 vises forkullingsdybden målt i tverrsnitt 1. Det lagt inn en linje for den teoretiske forkullingsdybden, regnet ut fra formel 2.2. Det er brukt en forkullingshastighet på 0,7 mm/min som er verdien for  $\beta_n$  for norsk massivtre av gran i henhold til Eurokode 5. Dette gir da følgende teoretiske forkullingsdybde etter 20 minutter branneeksponering:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = d_{char,n} = 0,7 \text{ mm/min} \cdot 20 \text{ min} = 14 \text{ mm} \quad (5.1)$$



**Figur 5.3:** Parvis forkullingsdybde for tverrsnitt 1. Figuren viser alle teststykkene, maks forkulling indikerer gjennomforkulling eller helt bort brent (teststykke 16 og 18). Blå er overflatebehandlet, oransje er ubehandlet og grå linje er beregnet teoretisk forkullingsdybden etter 20 minutter. Spesial 1, 2 og 3 er kun testet med behandling, Testpar 4 og 14 er teststykkene som er 3-lags KLT behandlet med klar brannmaling. Figur i hjørnet til høyre illustrerer hvilke tverrsnitt forkullingsdybden er målt.

Fra figur 5.3 ser man at de behandlede eksemplarene har mindre forkullingsdybde enn de ubehandlede. Dette tyder på at behandlingen enten har ført til saktere forkulling, eventuelt senere start på forkulling, eller en kombinasjon av disse.

Siden brannmaling trekker inn og bare danner et tynt lag utenpå teststykkene og ikke en tykk barriere, som for eksempel gipsvegger, så er trolig den innkapslet fasen (Omtalt som fase 0 i kapittel 2.3.2) veldig kort før man går over til en fase med beskyttet forkulling (Omtalt som fase 2 i kapittel 2.3.2) som vil vare noe lengre og tilslutt så er det normal forkulling (Omtalt som fase 1 i kapittel 2.3.2).

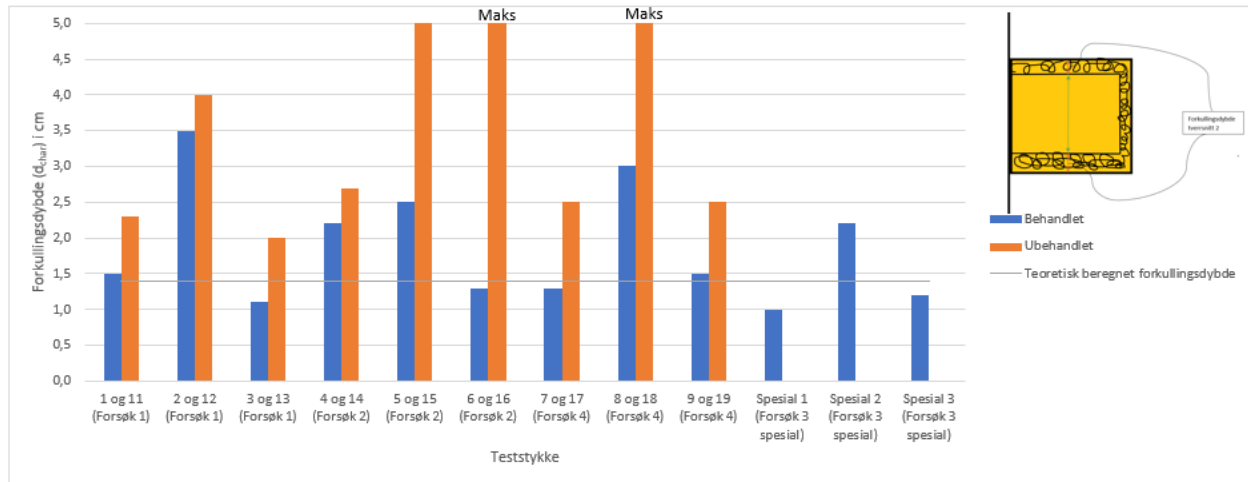
Siden full brannbelastning bare varte i 20 minutter i alle forsøkene er det vanskelig å si om forskjellen i forkulling mellom de ubehandlede og behandlede teststykkene ville ha fortsatt å øke eller forholdt seg lik dersom branneksporingen hadde vært lengre.

Et annet forhold som gjør det vanskelig å trekke konklusjoner er at forkullingsdybden ikke ble målt digitalt med termoelementer. Selv om branneksporingen varte i 20 minutter for alle forsøkene var det forskjell på når lokket på rommet ble tatt av og hvor lang tid det tok fra forsøkene startet til teststykkene ble kuttet og forkullingsdybde ble målt. Dette har noe å si siden treet fortsetter å forkulle selv etter at branneksporingen er ferdig. Det hadde derfor vært ideelt å ha termoelementer på flere dybder i teststykkene, målt når hver av disse oversteg 300 °C, og på denne måten bestemme forkullingshastigheten.

Siden det var termoelementer 5 cm inn i teststykkene, kan man se utfra temperaturene at ingen av teststykkene var forkullet inn til 5 cm etter 20 minutters branneksporing, for da hadde den innvendige temperaturen vært høyere på dette tidspunktet. Men fra figur 4.4 ser man at teststykke TS15(F2) er forkullet til 5 cm etter ca. 100 min og TS18(F4) etter ca. 65 min, som er henholdsvis 80

## Kapittel 5. Diskusjon

og 45 min etter brenneren er skrudd av. Om man bruker uttrykket for den teoretiske forkullingshastigheten får man 0,5 mm/min for TS15(F2) og 0,77 mm/min for TS18(F4). Dette viser at forkulling i noen tilfeller kan fortsette med høy rate selv etter at branneksponeeringen er avsluttet.



**Figur 5.4:** Parvis forkullingsdybde for tverrsnitt 2. Figuren viser alle teststykkene, maks cm forkulling indikerer gjennomforkulling eller helt bort brent (teststykke 16 og 18). Blå er overflatebehandlet, oransje er ubehandlet og grå linje er beregnet teoretiske forkullingsdybden etter 20 minutter. Spesial 1, 2 og 3 er bare undersøkt i behandlet variasjon, dette er de trykkimpregnerte teststykkene. Test par 4 og 14 er teststykkene som er 3-lags KLT behandlet med klar brannmaling. Figur i hjørnet til høyre illustrerer hvilke tverrsnitt forkullingsdybden er målt i.

For tverrsnitt 2 venter en større forkullingsdybde for teststykkene i midten, men lik eller nesten lik for teststykkene som er plassert i hjørnene. Fra figur 5.4 ser man at dette også stemmer med resultatene, det er en signifikant forskjell i forkullingsdybden for teststykke 2 og 12, 5 og 15 og 8 og 18. Mens forskjellen i forkullingsdybden mellom de to tverrsnittene for teststykkene som er plassert i hjørnene er nesten lik hverandre for mesteparten av parene.

### Spesialteststykker:

Forkullingsdybden for spesialstykkene er ganske jevn når de sammenlignes med de andre behandlede teststykkene. Disse teststykkene kan ikke direkte sammenlignes med teststykkene av KLT, det hadde vært ønskelig å teste disse trykkimpregnerte stykkene opp mot ubehandlede teststykker av samme materiale. Men dette har ikke vært mulig fordi ubehandlede teststykker ikke har vært tilgjengelig. Det er også et spørsmål om det er mulig å bruke på KLT av gran, siden dette er et hardt tre så kan det være vanskelig å trykkimpregnere det.

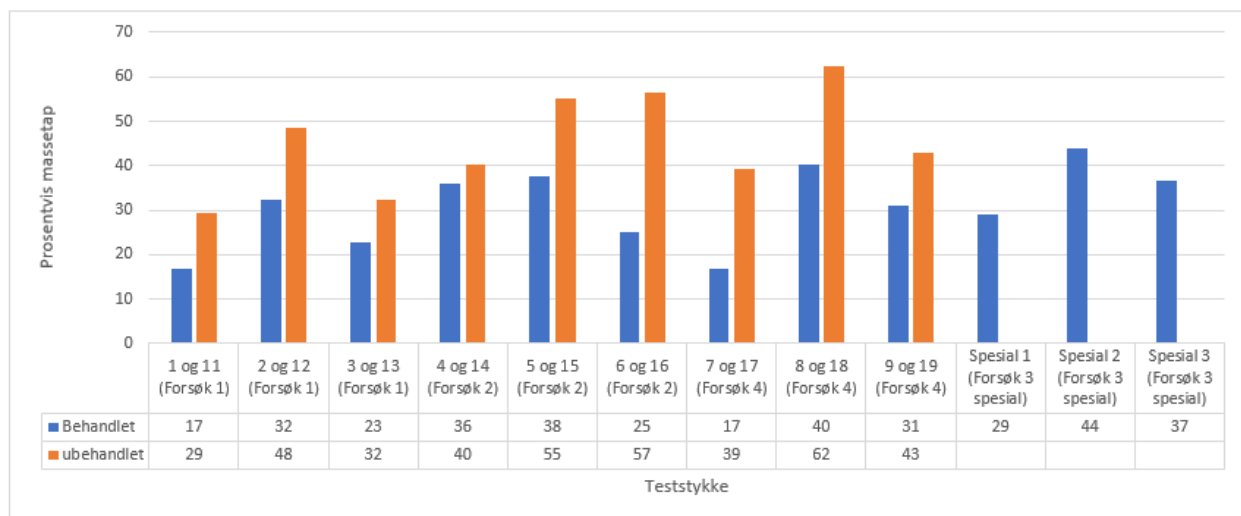
For disse teststykkene ble det observert at det forkullede laget smuldret vekk mye lettere enn for KLT-teststykkene. Dette kan bety at det forkullede laget vil lettere dette av om det blir utsatt for utvendige påkjenninger under brannen, som for eksempler vind eller bevegelser grunnet at deler av bygget raser under brannen.

Fra figur 4.5 ser man at det er lite temperaturstigning i starten sammenlignet med de andre teststykkene, dette tyder på at det trykkimpregnerte stoffet har en lengre innkapslet fase (omtalt som fase 0 i kapittel 2.3.2) enn de andre teststykkene. Videre er også temperaturstigningen lavere,

siden impregneringen når gjennom hele materialet, vil det være en konstant beskyttelse som sørger for en lavere forkullingshastighet gjennom hele brannen og etter slukking av brannen. Det vil ikke være slik som for maling og gipsplater at beskyttelsen brenner bort etter en liten stund. Dette er en fordel med trykkimpregnering.

## 5.2 Massetap

Massetapet er blitt målt fordi det er en god indikator på hvor svekket teststykkene er. Desto mer masse som er igjen, desto bedre vil bæreevnen og integriteten til materielt være. Siden ikke alle teststykkene er nøyaktig like store er det gjort en prosentvis beregning av massetapet. I søylediagrammet i figur 5.5 er det vist en parvis sammenligning av hvor mye masse teststykkene har mistet.



**Figur 5.5:** Parvis sammenligning av prosentvis massetap, med tabell som viser prosentvis massetap for hvert teststykke. Blå er behandlede teststykker og oransje er ubehandlede teststykker.

For alle parene kan man se at det er betraktelig høyere massetap for de ubehandlede teststykkene sammenlignet med de behandlede teststykkene. Teststykkene hvor det er minst forskjell er teststykke 4 og 14, dette var testen hvor det var 3-lags KLT og det var den klare brannmalingen som ble brukt. For de resterende teststykkene er det forskjeller på 9 til 22 %. Siden det er mindre massetap i teststykkene som er behandlet, er det rimelig å anta at disse også har bedre integritet og bærekraft. Men siden det ikke var last på teststykkene kan det ikke konkluderes sikkert med at dette er tilfellet.

Siden teststykkene ikke ble avkjølt like lenge og det fortsatt var ulmebrann i noen av teststykkene da de ble kuttet, kan det hende at forskjellen også ville ha steget om en hadde ventet til alle teststykkene hadde selvslukket eller eventuelt brent bort.

Når de tre spesial-teststykkene sammenlignes med behandlede teststykker av KLT med samme plassering så er det litt større massetap for spesialtilfellene. Eneste unntaket er TS4(F2) som er teststykket behandlet med klar brannmaling. Men sammenlignet med de ubehandlede teststykkene så er massetapet for spesial-teststykkene mindre.



## 5.3 Temperaturer

### 5.3.1 Temperatur i brannrommet

Det er viktig å vite temperaturen i brannrommet slik at man vet hvilken brannpåkjenning teststykkene er utsatt for. I denne oppgaven var hensikten at temperaturen i brannrommet skulle overstige en standard ISO-834 brannkurve. I figur 4.2 og 4.3 er det vist at brannromtemperaturen for alle forsøkene overskrider temperaturen i ISO-kurven. Noe som viser at det er tilstrekkelig høy temperatur i brannrommet til å kunne utføre tester i.

Videre ble også den tilførte gasmengden redusert med 1/3 i forsøk 4 for å undersøke om dette hadde noe effekt på brannromtemperaturen. Når man ser på maks temperaturene vist i tabell 5.1 så ser man at det ikke er lavere temperatur for forsøk 4. Den første er at for dette forsøket forekom det en feil på reguleringsventilen som førte til at gasmengden var 3 ganger så høy som tiltenkt de første 7 sekundene, dette kan ha ført til en raskere temperaturstigning i starten som igjen kan ha ført til at temperaturen forble høy. Den andre tingen som kan ha forårsaket det er at det for alle forsøkene er så høy gasstilførsel i rommet at så mye gass som er mulig å brenne i rommet blir forbrent mens resten forbrenner når det kommer utenfor rommet og at det på denne måten ikke er vesentlig om gassen er 1/3 lavere for forsøk 4.

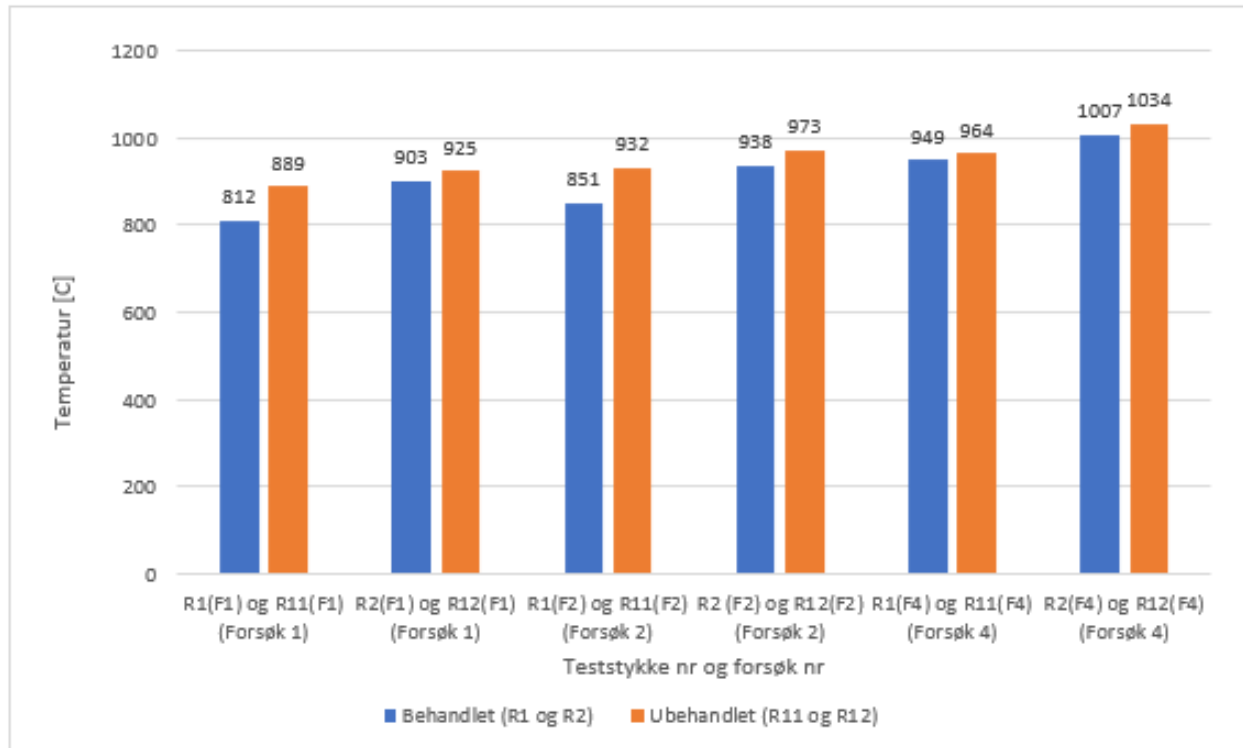
**Tabell 5.1:** Høyeste målte temperatur for hvert termoelement for måling av brannromtemperaturen. R1 i forsøk 3 er fjernet siden termoelementet sviktet og måtte erstattes og dette ble gjort i perioden hvor det var høyest temperatur i brannrommet.

Forsøk	1				2				3				4			
Termoelement	R1	R2	R11	R12	R1	R2	R11	R12	R1	R2	R11	R12	R1	R2	R11	R12
Max temperatur [C]	812	889	903	925	851	932	938	973	-	890	956	969	949	964	1007	1034

Forskjellene i brannromtemperaturen kan virke store men når de blir sett nærmere på så viser det seg at det ikke er veldig store forskjeller fra høyeste registrerte temperatur på 1034 °C (termoelement R12(F4)) til laveste max temperatur på 812 °C (termoelement R1(F1)), skiller 222 °C noe som tilsvarer 17 %. Det er flere faktorer som vil påvirke at det er forskjellig temperatur for de forskjellige termoelementene. Den første er plassering, altså om termoelementet er plassert nærmest åpningen eller nærmest brenneren. Det er naturlig at det er høyere temperatur nær brenneren. Så om det da blir sett på størst forskjell mellom hver enkelt sensor er dette for termoelement R1 som har en maks temperatur på 812 °C i forsøk 1 og 949 °C i forsøk 2, altså en forskjell på 11 %, som er innenfor vanligvis aksepterte feilmarginer i brann.

Forskjellene i maks temperaturen kan i tillegg til plassering skyldes forskjeller i temperaturen utenfor brannrommet eller mengde brennbart materiale i rommet (er tilnærmet likt for forsøk 1, 2 og 4, men er betraktelig lavere i forsøk 3). Dette er alle små faktorer som kan føre til forskjeller. En forskjell på 14 % anses derfor som akseptabel.

Selv om forskjellene ses på som små så er det gjort en interessant observasjon angående forskjellen i temperatur på siden med ubehandlet teststykker og siden med behandlet teststykker. Det er observert at det for alle teststykkeparene i forsøk 1, 2 og 4 er høyere temperatur på den siden hvor det er ubehandlet tre. Dette er vist i figur 5.6



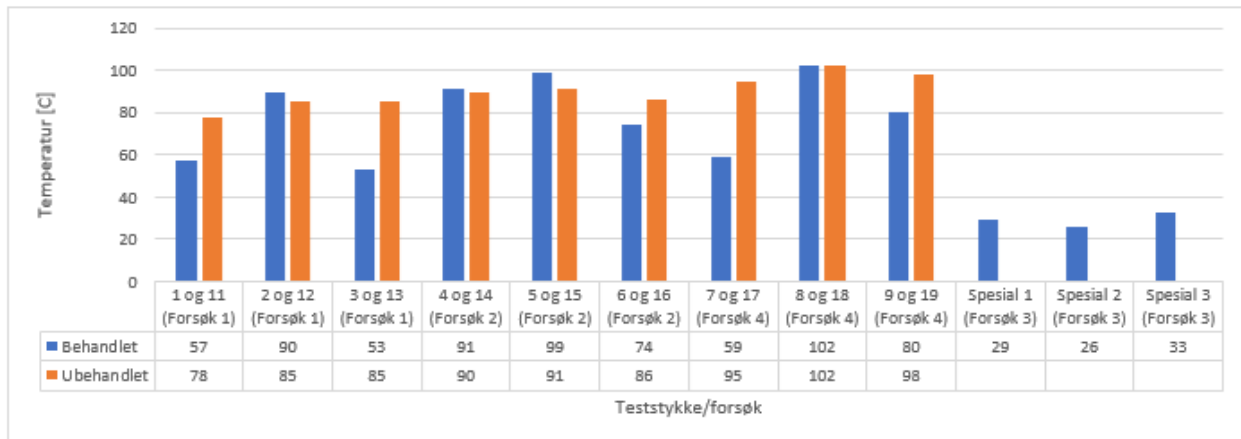
**Figur 5.6:** Parvis sammenligning av romtemperatur for behandlet og ubehandlet side. Blå søyle er behandlet side (R1 og R2) og oransje søyle er ubehandlet side (R11 og R12)

Denne forskjellen er ikke betydelig nok til at det kan trekkes endelige konklusjoner, men den kan tyde på at det ubehandlede treet brenner litt mer intensivt og derav avgir mer strålingsvarme enn det behandlede treet. Videre undersøkelser på området kreves for å trekke en endelig konklusjon.

### 5.3.2 Innvendig temperatur i prøvestykkene

Den innvendige temperaturen kan bli brukt til å indikere hvor langt inn forkullingen er kommet, når den overskrider 300 °C så vil det si at treet er forkullet inn til målepunktet (som i dette tilfellet er 5 cm fra overflaten). I figur 5.7 er den innvendige temperatur for når gasstilførselen ble avsluttet vist (temperatur ved 20 min). Fra disse temperaturene og fra grafene vist i figur 4.4 kan man se at temperaturøkningen frem til at brenneren blir skrudd av er ganske lik for både de ubehandlede teststykke og de behandlede teststykkene. De som skiller seg mest ut er de tre spesial-teststykkene i forsøk 3, disse blir diskutert for seg selv i et senere avsnitt.

## Kapittel 5. Diskusjon



**Figur 5.7:** Innvendig temperatur etter 20 minutter med brannbelastning. Blå søyle er behandlede teststykker (TS1-9), oransje søyle er ubehandlede teststykker (TS11-19). For spesialtilfelle 1, 2 og 3, var termoelementene frakoblet ved 20 min, temperaturen er derfor beregnet ved lineær interpolasjon.

Siden oppførselen til alle de innvendige temperaturene for både behandlet og ubehandlet teststykker er ganske like frem til at brenneren er skrudd av, så er det tiden etter dette som er det mest interessene. Men det første man ser når man ser på grafene i figur 4.4 er at temperaturene hele tiden er lavere for de behandlede teststykkene, dette viser at overflatebehandlingen har noe effekt. Men der man ser mest effekt er i det som skal være avkjøling fasen. I avkjøling fasen ser man i figur 4.4 at de ubehandlede teststykkene i flere tilfeller fortsetter å stige mye mer enn de behandlede teststykkene, noe som kan tyde på at det er ulmebrann eller begynnende ulmebrann. For å vurdere om det er tegn til ulmebrann basert på den innvendige temperaturen er det beregnet prosentvis temperatur etter at brenneren ble stengt av, dette er vist i tabell 5.2, hvor grønn er ikke tegn til ulmebrann, gul er noe tegn til ulmebrann og rød er tydelig tegn til ulmebrann. Disse verdiene er også sett i sammenheng med grafene i figur 4.4, og må derfor ikke vurderes frittstående.

Fra de innvendige temperaturene vist i tabell 5.2 er det 4 teststykker som er vurdert til tydelig tegn på ulmebrann og 4 som er vurdert til tegn til ulmebrann. Det er noen av teststykkene som for eksempel teststykke TS1(F1), TS3(F1) og TS7(F4) om har høy prosentvis økning i temperaturen etter brenneren er skrudd av, men allikevel blir regnet som upåvirket av ulmebrann. Dette er fordi når disse ses i sammenheng med temperaturgrafene og maks temperaturen, så er det lavere maks temperaturer enn de som blir regnet som påvirket av ulmebrann og temperaturstigningen skjer i kort periode etter brenneren er skrudd av. Og ikke slik som for eksempel teststykke TS14(F2) hvor maks temperaturen nås 55 minutter etter brenneren er skrudd av. I tilfeller som TS1(F1), TS3(F1) og Ts7(F4) er det rimelig å anta at det bare er mye brann i treet når brenneren blir skrudd av som gjør at temperaturen fortsetter å stige brått i en kort periode etter brenneren er skrudd av. Men i tilfeller hvor temperaturstigningen kommer lenge etter eller varer lenge etter at brenneren er skrudd av så vurderes disse til at det er fare for ulmebrann.

**Tabell 5.2:** Oversikt over innvendig temperatur etter 20 min, maks innvendig temperaturer og prosentvis temperaturstigning etter brenneren ble skrudd av, for hvert teststykke. Rød indikerer tydelig tegn til ulmebrann, gul er noe tegn til ulmebrann og grønn er ikke tegn til ulmebrann. Hvit er ikke vurdert siden disse er spesialtilfeller, for spesialtilfellene er temperaturen ved 20 min funnet ved lineær interpolasjon. Prosentvis stigning er basert på absolutt temperatur (K).

Teststykke	Temp etter 20 min [C]	Max temperatur [C]	prosentvis stigning etter avstengt brenner [%]
TS1(F1)	57	95	12
TS11(F1)	78	111	9
TS2(F1)	90	109	5
TS12(F1)	85	152	19
TS3(F1)	53	96	13
TS13(F1)	85	101	4
TS4(F2)	91	139	13
TS14(F2)	90	171	22
TS5(F2)	99	126	7
TS15(F2)	91	301	58
TS6(F2)	74	100	7
TS16(F2)	86	154	19
TS7(F4)	59	100	12
TS17(F4)	95	145	14
TS8(F4)	102	138	10
TS18(F4)	102	317	57
TS9(F4)	80	99	5
TS19(F4)	98	153	15
Spesial 1	29	95	22
Spesial 2	26	96	23
Spesial 3	33	87	18

Når man ser på hvilke teststykker som viser tegn til ulmebrann så ser man at dette nesten bare er teststykker som ikke er behandlet, eneste unntaket er teststykke TS4(F2) som var det teststykket som var behandlet med klar brannmaling. Dette tyder på at bruk av brannmaling øker sannsynligheten for selvslukking og er med på å redusere økning i temperatur etter at påkjenningen er avsluttet. En annen ting man observerer er at alle de tre ubehandlede teststykkene i forsøk 2 viser tydelige tegn til ulmebrann, dette er forsøket som har taket på lengst og hvor teststykkene blir avkjølt lengst, dette indikerer at hvor hurtig temperaturen i brannrommet blir redusert har noe å si for sannsynligheten for ulmebrann.

### Innvendig temperatur spesialtilfeller

Ved 20 min kan man se at temperaturen for de trykkimpregnerte teststykkene (spesial 1, 2 og 3) er betraktelig lavere for de andre teststykkene (se tabell 5.2). Dette tyder på at varmen sprer seg saktere innover i spesialtilfellene enn for de andre. Dette er nyttig siden det potensielt kan føre til lengre tid før kollaps. Men når man ser på maks temperaturene ser man at de trykkimpregnerte når maks temperaturer på like under fordampning, men dette skjer lenge etter at brenneren er slått av, noe som fører til en enorm prosentvis stigning etter at brenneren er slått av. Dette tyder på at

## Kapittel 5. Diskusjon

---

forkullingen har bygget et moment og fortsetter en stund etter at brenneren er slått av. Dette kunne vært et tegn på ulmebrann, men siden temperaturen for alle de tre oppfører seg så likt og begynner å synke samtidig og at de aldri har en sekundær temperaturstigning etter avkjølingen har startet så anses det ikke at ulmebrann er en fare i disse teststykkene.

Forskjellen i oppførsel kan i tillegg til at teststykkene har annen behandling skyldes at det er en annen type tre og at dimensjonene på teststykkene er annerledes.

En annen observasjon som er interessant er at det liten forskjell i maks temperatur for de tre spesial teststykkene. Siden teststykket i midten er eksponert for brannen på tre sider så vil man forvente at denne oppnår en høyere innvendig temperatur. Men for de tre spesial-teststykkene er forskjellen i temperatur neglisjerbar. Om man ser på de andre teststykkene så kan man se den innvendige temperaturen ved 20 min og maks temperaturen er høyere for teststykkene i midten av rommet sammenlignet med de andre (teststykke TS2 og TS12, TS5 og TS15 og TS8 og TS18 er plassert i midten av rommet). Dette kan da tyde på at antall sider som er eksponert er av mindre betydelighet for de trykkimpregnerte teststykkene.

Siden disse teststykkene har en så jevn temperaturstigning vil det også være mulig å finne en forkullingshastighet som er relativt nøyaktig. Men man må ta hensyn til at forkullingen foregår en stund etter at brannkilden er slukket. Det krever derfor flere forsøk enn de som er utført i denne oppgaven for å finne en nøyaktig forkullingshastighet. Og den må i tillegg justeres for hvilke typer tre som er behandlet.

### 5.3.3 Delaminering

Det er ikke vist noe tegn til delaminering for noen av teststykkene i forsøkene. Dette viser at for alle forsøkene så er limintegriteten opprettholdt. Selv om det ikke var noe tegn til delaminering i disse forsøkene er det ikke gitt at det ikke vil forekomme med større teststykkene som er under belastning i lengre tid. Men det er allikevel et godt tegn at ingen av disse teststykkene begynte å delaminere. For om det blir mindre fare for delaminering så vil KLT brenne mer forutsigbart, noe som igjen vil gjøre det lettere å gjøre beregninger.

## 5.4 Vurdering av norske krav

Tek 17 har som tidligere nevnt strenge krav når det kommer til å bygge med tre. Det kan derfor være interessant å vurdere om disse kravene trenger å være så strenge som de er i dag. Sett i lys av resultatene i denne rapporten og nyere krav til slukkeutstyret.

Kravene for overflatebehandling skille i dag mellom brannceller som er rømningsvei og brannceller som ikke er rømningsvei, det er da naturlig at det er strengere krav i branncellene som er rømningsvei. For alle risikoklasser i alle brannklasser er kravet for overflater i brannceller som er rømningsvei like: b,s1,d0. Dette betyr at KLT som er klassifisert til D-s2-d0 er nødt til å bli overflatebehandlet i en eller annen form om det skal benyttes i brannceller som er rømningsvei. Eneste plassene man kan benytte KLT som ikke er overflatebehandlet er overflater i brannceller som ikke er rømningsvei i brannklasse 1, risikoklasse 1- 6 (uansett størrelse på branncelle), og i brannklasse 2 og 3, risikoklasse 1-5, i brannceller som er mindre enn 200 m<sup>2</sup>. Foruten om dette må man over-

---

flatebehandle KLT. Når man ser på resultatene fra testene er det tydelige forskjeller på om treet er behandlet eller ikke, men det kan diskuteres om forskjellene er så store at det burde være så strenge krav til overflatebehandlingen. For bygginger som ikke er i risikoklasse 6 så kan man enkelt komme rundt overflate kravet ved at man installerer sprinkleranlegg som et kompensierende tiltak. Men dette er noe man bare kan gjøre når det ikke allerede er krav om sprinkleranlegg, om det allerede er krav om at overflaten skal være kvalifisert til b,s1,d0 og at det skal være sprinkler så er man enkelt og greit nødt til å gjøre begge deler. Men det burde diskuteres om det er nødvendig med begge deler alle plasser. Kanskje overflatekravet kunne vært redusert på plasser hvor det er sprinkleranlegg eller kravet om sprinkler kunne vært redusert hvor det er strenge krav om overflater. Siden det ikke er gjort noe tester med sprinkler i denne oppgaven kan det ikke konkluderes med at kravene burde reduseres på, men det burde gjøres videre undersøkelse som ser på om sprinkler kan ta vekk faren for ulmebrann i KLT, noe etter testene i denne oppgaven anses å være en av de største farene ved bruk av ubehandlet KLT, for om sprinkler fjerner denne faren så vil det trolig ikke være nødvendig med så strenge overflatekrav.

Et annet alternativ er å vurdere om maling kan ivareta overflatekravene. I denne rapporten blir det vist at overflatebehandling har en effekt. Men det som hadde vært interessant å undersøke er hvordan malte overflater gjør det opp mot å innkapsle veggen i gips. Innkapsling i gips er en annen måte å tilfredsstille overflatekravene, men ulempen er da at man mister det synlige treet, dette gjør man ikke ved bruk av maling da spesielt klar maling. Men selv med hvit maling vil overflatene fortsatt ha noe av den tre følelsen som så mange er ute etter.

En siste ting er hvordan regelverket deler inn bygginger i risikoklasse 6. Her er både fengsler, hoteller, sykehjem og leirskoler i samme risikoklasse. Det er fundamentalt forskjellige bruk av et fengsel og et sykehjem. Man vil åpenbart ikke ha brennbare vegger i et fengsel da det her er høy fare for antennelse og man må begrense evakueringsmulighetene, noe man må gjøre ved å dele inn i sikre brannseksjoner. Men andre bygginger som sykehjem og hoteller som går under samme risikoklasse som fengsler trenger man ikke nødvendigvis så strenge krav. Det burde derfor vurderes om bygningstypene i risikoklasse 6 burde deles inn i flere klassifiseringer eller spesialtilfeller, for å unngå at bygginger med store forskjeller i sikkerhetsbehov er i samme klasse.

Om man vil bruke KLT til å bygge høye og store bygninger er det enkelt og greit strengt og det er mye man må tenke på. Det kan derfor være en ide å prøve å finne alternative løsninger. Men dette er ikke alltid så lett å tenke seg til hva man kan gjøre for å sikre at kravene oppfylles. Spesielt med tanke på sprinkler og overflater. I risikoklasse 1-5 kan man kanskje vurdere å bruke en kombinasjon av ubehandlete og behandlete overflater, her kan man gjerne behandle overflater for å oppfylle kravene i rømningsveier men la være å overflate behandle i brannceller som ikke er rømningsveier siden KLT i seg selv oppfylder overflatekravene her. Men dette kan man naturligvis ikke gjøre i risikoklasse 6 siden det her er de samme strenge kravene på alle overflater. Om man ønsker ubehandlet KLT i en slik bygning er det ikke så mange løsninger, men da er det kanskje trykkimpregnering eller klar brannmaling som er veien å gå siden disse fortsatt vil gjøre at man har den treaktige overflaten.



Gjennom undersøkelser av 18 teststykker av KLT og 3 teststykker av furu er det i denne oppgaven funnet sterke indikasjoner på at overflatebehandling av Kryss-Laminert Tre (KLT) har en effekt. Dette er vist ved at de åtte teststykkene av 5-lags KLT behandlet med hvit brannmaling, klassifisert til b,s1,d0, har hatt signifikant lavere forkullingsdybde, massetap og innvendig temperatur (målt 5 cm fra overflaten) når de sammenlignes med åtte ubehandlede teststykker. Det var heller ikke noe tegn til ulmebrann i noen av de åtte behandlede teststykkene, mens det var tegn til ulmebrann eller begynnende ulmebrann i seks av de åtte ubehandlede teststykker av 5-lags KLT. Dette gir klare indikasjoner på at overflatebehandling kan være med å bidra til å minke risikoen for ulmebrann. En annen viktig observasjon var at et av teststykkene behandlet med klar brannmaling viste tegn til ulmebrann, også denne klassifisert til b,s1,d0. Dette kan tyde på at den klare brannmalingen ikke beskytter like godt som den hvite, men siden det bare var ett teststykke med denne overflatebehandlingen, er det umulig å trekke en endelig konklusjon.

De tre teststykkene av furu som ble behandlet med trykkimpregnering, viste gode egenskaper i brannsituasjon. De hadde en jevn innvendig temperaturstigning, lav forkullingsdybde, men noe høyt massetap og jevn temperaturstigning en stund etter brenneren av slått av. Siden testene av det trykkimpregnerte stoffet ikke ble gjort på KLT så kan det ikke konkluderes med at dette er en alternativ overflatebehandling for massivtre, men dette er noe som bør undersøkes nærmere.

Det er ikke gjort tester med sprinkleranlegg, det er derfor vanskelig å vurdere om dagens krav i Tek 17 om både sprinkler og overflatebehandling for bygginger i risikoklasse 6 er nødvendig. For å kunne vurdere om begge deler er nødvendig må det utføres tester både med og uten overflatebehandling kombinert med sprinkler.

Det er det en bred gruppe bygg som inngår i risikoklasse 6. For noen av byggene kan det være nødvendig med både sprinkler og overflatebehandling for andre ikke.



## Kapittel 6. Konklusjon

---

Det er mye det burde forskes mer på når det gjelder bruken av KLT, spesielt i store bygginger.

Som direkte videre arbeid utfra denne oppgaven, hadde det vært interessant få utført fullskala-forsøk hvor ubehandlet KLT ble sammenlignet med behandlet KLT. Det hadde også vært interessant å gjennomføre fullskala forsøk med sprinkleranlegg, for å se om ubehandlet og behandlet KLT oppfører seg. Et viktig spørsmål er om det er nødvendig med både overflatebehandling og sprinkleranlegg slik som det i dag er for bygginger i risikoklasse 6.

Når det gjelder småskala forsøk, ville det vært mulig å måle forkullingsdybden ved ensidig eksponering for behandlet og ubehandlet KLT, siden det i denne oppgaven bare ble brukt to eller tresidig eksponering. En interessant variant ville være forsøk hvor hele veggen var dekket med KLT. Det ville også vært interessant å måle hvor fort forkullingen skjer og hvor langt den er nådd når den eksterne brannkilden blir skrudd av. Dette vil kreve flere termoellementer plassert i forskjellige dybde i teststykkene/veggen. I tillegg hadde det vært mulig å måle forkulling ved eksponering i 30, 45, 60, 90 og 120 minutter. I forsøkene gjort i denne oppgaven ble det heller ikke målt fuktighet, det kunne derfor også være spennende å se hvordan fuktigheten i treet vil påvirke resultatene

Siden det ikke var KLT som var trykkimpregnert i testene utført i denne oppgaven, hadde det vært interessant å se hvordan KLT lar seg trykkimpregnere og hvordan det oppfører seg i brann når det er trykkimpregnert. Det ville også vært interessant å sett en kostnadsanalyse for trykkimpregnering av KLT opp mot maling.



# Bibliografi

- [1] J. Aarstad and G. Glasø. Massivtre. *FOKUS på tre*, Nr.20, 2011.
- [2] E. Andersen. Fullstendig brannforløp i limtrekonstruksjoner. Technical report, Norske Limtreprodusenters forening, 2017.
- [3] L. Bisby and S. Deeny. Fire safety needs for mass timber buildings \_arup\_ uoe. [https://www.slideshare.net/SusanDeeny/fire-safety-needs-for-mass-timber-buildings-arup\\_oe](https://www.slideshare.net/SusanDeeny/fire-safety-needs-for-mass-timber-buildings-arup_oe), 08 2016. (Accessed on 05/20/2021).
- [4] D. Brandon and B. Ostman. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings. Phase 2: Task 1 - Literature Review: The contribution of CLT to compartment fires. Technical Report number: FRPF-2016-22, National Fire Protection Association (NFPA) og SP Technical Research Institute, 2016.
- [5] R. Flatland and C. A. Clementz. Laft og lafting. *FOKUS på tre*, -(44), 2008.
- [6] D. for byggkavlitet. Innledning til kapittel 11 sikkerhet ved brann - byggeteknisk forskrift (tek17) med veiledning. <https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/11/i/innledning/>, 2017. (Accessed on 03/25/2021).
- [7] K. L. Friquin and D. Denstad. Trygt å bruke massivtre i bærekonstruksjoner - sintef. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/trygt-a-bruke-massivtre-i-barekonstruksjoner/>, januar 2020. (Accessed on 04/03/2021).
- [8] S. Gagnon, E. Bilek, L. Podesto, and P. Crespell. *CLT Introduction to cross-laminated timber*, volume 91. FPIinnovations, 2013.
- [9] C. Glosli. Så miljøvennlige er trebygg. <https://forskning.no/nmbu-norges-miljo-og-biovitenskapelige-universitet-miljo-jord-og-skog/sa-miljovennlige-er-trebygg/266554>, 05 2018. (Accessed on 03/18/2021).
- [10] R. M. Hadden, A. I. Bartlett, J. P. Hidalgo, S. Santamaria, F. Wiesner, L. A. Bisby, S. Deeny, and B. Lane. Effects of exposed cross laminated timber on compartment fire dynamics. *Fire Safety Journal*, 91:480–489, 2017. Fire Safety Science: Proceedings of the 12th International Symposium.
- [11] S. Haram. Branntesting av gjennomføringer i massivtre - resulterte i håndbok. <https://brennaktuelt.no/brannbeskyttelse-brannsikkerhet-branntesting/branntesting-av-gjennomforinger-i-massivtre---resulterte-i-handbok/101795>, januar 2020. (Accessed on 04/03/2021).
- [12] J. Hindklev. Advarer mot å bygge høyt med massivtre som hovedbærekonstruksjon : Bygg.no - byggeindustrien. <http://www.bygg.no/article/1420345>, januar 2020. (Accessed on 04/03/2021).

BIBLIOGRAFI

---

- [13] <https://www.eos-oes.eu/>. Eos - european organisation of the sawmill industry | news - clt: Prof. gerhard schickhofer is awarded the 2019 marcus wallenberg prize. <https://www.eos-oes.eu/en/news.php?id=1616,032019>. (Accessed on 10/14/2020).
- [14] <https://www.firesafe.no/>. Hensotherm 2 ks innendørs | firesafe. <https://www.firesafe.no/product/hensotherm-2-ks-innendørs>. (Accessed on 03/02/2021).
- [15] itre as. Massivtre | itre as. [http://www.itre-as.no/?page\\_id=10](http://www.itre-as.no/?page_id=10). (Accessed on 03/18/2021).
- [16] H. M. J. G. D. H. J. J. R. H. K. K. E. P. M. T. J. L. W. J. J. M. W. C. J. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer New York, 5 edition, 2016.
- [17] M. Kippel and A. Just. Guidance on fire design of clt including best practise. COST Action FP1404, 2018. Zürich, Switzerland.
- [18] M. Klippel, A. Frangi, and M. Fontana. Influence of the adhesive on the load-carrying capacity of glued laminated timber members in fire. *Fire Safety Science*, 10:1219–1232, 01 2011.
- [19] S. N. Leksikon. kitin – store norske leksikon. <https://snl.no/kitin>. (Accessed on 03/09/2021).
- [20] S. N. Leksikon. kitosan – store norske leksikon. <https://snl.no/kitosan>. (Accessed on 03/09/2021).
- [21] G. Liebe. brannklassifisering – store norske leksikon. <https://snl.no/brannklassifisering>, 09 2020. (Accessed on 03/25/2021).
- [22] B. Lier and P. A. Aasheim. Markedsanalyse KL- tre markedet i Norge 2020 -2030. *Trebruk*, pages 1–20, 2020.
- [23] N. Nordbø. Ni høye trehus i norge – nrk kultur og underholdning. <https://www.nrk.no/kultur/ni-hoye-trehus-i-norge-1.14049440>, 05 2018. (Accessed on 09/09/2020).
- [24] Norske Limtreprodusenters Forening. *Limtreboka*. Norske Limtreprodusenters Forening, 2015.
- [25] A. Q. Nyrud and T. Bringslimark. Opplevelse av trematerialer i innemiljø. *FOKUS på tre*, Nr.54, 2012.
- [26] A. Olsen and H. N. Narmoe. *Alle gode ting er massivtre!* PhD thesis, Høgskolen på Vestlandet, 2020.
- [27] Protecta. TekniskHåndbok - branntetting av tekniske gjennomføringer i heltre eller krysslaminert massivtre. [http://www.skogtiltakfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2018/2018-08%20H%C3%A5ndbok%20Branntetting%20av%20tekniske%20gjennomf%C3%B8ringer\\_Massivtre.pdf](http://www.skogtiltakfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2018/2018-08%20H%C3%A5ndbok%20Branntetting%20av%20tekniske%20gjennomf%C3%B8ringer_Massivtre.pdf), 2020. (Accessed on 04/08/2021).
- [28] N. K. Reitan, K. Friquin, and R. Fjellgaard Mikalsen. Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger – en litteraturstudie. Technical report, RISE Research Institutes of Sweden, 2019.

- [29] SINTEF Byggforsk. Massive treelementer - Typer og bruksområder- 520.205. 520.205, page 8, 2001.
- [30] Standard Norge. NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010. Eurokode 5 : Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2 : Brannteknisk dimensjonering, 2010.
- [31] E. C. f. Standardization. Eurocode 5 – Design of timber structures Part 1-2: General rules – Structural fire design, 2020.
- [32] Trefokus.no. Limtre | trefokus. <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre>. (Accessed on 03/19/2021).
- [33] Treteknisk. Håndbok - bygge med Massivtreelementer Hefte 1 • Generelt. *Norsk Treteknisk Institutt*, 2006.
- [34] Treteknisk. Håndbok - bygge med Massivtreelementer Hefte 4 • Brann. *Norsk Treteknisk Institutt*, 2006.
- [35] T. Ukeblad. Sunnhet i rekeskall - tu.no. <https://www.tu.no/artikler/sunnhet-i-rekeskall/272951>. (Accessed on 03/09/2021).
- [36] E. D. Wormdahl, K. Hox, A. Steen-Hansen, G. Baker, and M. K. Ulfsnes. Brannsikkerhet i bygg med massivtre. SPFR-rapport A17 20229:1. page 22, 2017.

## BIBLIOGRAFI

---

TILLEGG A

YTELSESERKLÆRING (DOP) FOR KLT FRA SPLITKON



## YTELSESERKLÆRING / DECLARATION OF PERFORMANCE (DOP)

### Krysslimt tre / Massivtre

**Tilsiktet bruk:** For bærende og ikke-bærende konstruksjoner i bygninger og anlegg utført i henhold til Eurokode 5 (NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:20100).

**Produsent:** Splitkon AS  
Industriveien 3  
3340 Åmot  
[www.splitkon.no](http://www.splitkon.no)

**Representant:** Daglig leder Morten L. Johansen

### Teknisk beskrivelse:

prEN 16351, NS 16351:2015 (ikke godkjent i EN, derav ikke tilfredsstillende for CE-merking)  
EAD 130005-00-0304, 2015, Solid wood slab to be used as a structural element in buildings

**Teknisk kontrollorgan:** Internt kontrollsystem for vurdering og fortløpende kontroll av byggproduktets ytelse i hht prEN16351, med Norsk Treteknisk Institutt som uavhengig kontrollorgan.

**Ytelser:** I henhold til Teknisk dokumentasjon, se vedlegg.

Vesentlige egenskaper:	Ytelse (delklarasjonsverdier)
Holdbarhet	EN 350:2016
Treslag/treslagsgruppe	Norsk gran ( <i>Picea abies L. Karst</i> )
Vekstregion:	Norge
Ytre lameller:	T22 i hht. NS 338:2016
Midtre lameller:	T22 / T15 i hht. NS 338:2016
Toleranser:	NS 3516:2017
Limtype:	Melamin urea formaldehyd, Dynea Prefere 4546 og 5020
Avgassing:	Formaldehydklasse M1
Reaksjon ved brannpåvirkning	D-s2, d0, etter NS-EN 13501-1:2007+A1:2009
Overflatekvalitet:	Høvlet/pusset

Ytelser for denne byggevaren, som er anført ovenfor, er i overensstemmelse med de angitte ytelsene. Denne ytelseserklæringen er utarbeidet i overensstemmelse med forordning (EU) nr. 568/2014 under eneansvar til produsenten, som er anført ovenfor.

Åmot, 3. juni, 2019

Morten Johansen

## **B.1 Studier gjennomgått i litteraturstudiet: The contribution of CLT to compartment fires**

Hakkarainen T. (2002) Post-flashover fire in light and heavy timber construction compartments. *Journal of Fire Sciences*, 20 (2002): 133-175.

Lennon T., Bullock M.J., Enjily V. (2000) The fire resistance of medium-rise timber frame buildings. BRE Report No 79485-1, BRE, Watford, UK.

Frangi, A., Bochicchio, G., Ceccotti, A., Lauriola, M. (2008). Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey XLam Timber Building. Engineered Wood Products Association, Madison, Wisconsin, USA.

Kampmeier, B. (2009) Innovationen im Mehrgeschossigen Holzbau. Proceedings of Braunschweiger Branschutz-Tage '09, Braunschweig, Germany. (in German)

Lennon T., Hopkin D., El-Rimawi J., Silberschmidt V. (2010) Large scale natural fire tests on protected engineered timber floor systems. *Fire Safety Journal*, 45 (2010): 168-182.

Peng W., Hu L., Yang R., Lv Q, Tang F., Xu Y., Wang L. (2011) Full Scale Test on Fire Spread and Control of Wooden Buildings. *Procedia Engineering*, 11 (2011): 355-359.

Li X., Zhang X., Hadjisophocleus G., McGregor C. (2014) Experimental study of combustible and non-combustible construction in a natural fire. *Fire Technology*, 2014.

McGregor, C.J. (2014) Contribution of cross-laminated timber panels to room fires. Master thesis. Department of Civil and Environmental Engineering Carleton University. Ottawa-Carleton Institute of Civil and Environmental Engineering, Ottawa, Ontario, Canada.

Kolaitis D.I., Asimakopoulou E.K., Founti M.A. (2014) Fire protection of light and massive timber elements using gypsum plasterboards and wood based panels: A large-scale compartment fire test. *Construction and Building Materials*, 73 (2014): 163-170.

Su J.Z. and Lougheed G.D. (2014) Report to research consortium for wood and wood hybrid midrise buildings – Fire safety summary – Fire research conducted for the project on mid-rise wood construction. National Research Council Canada, Client report: A1-004377.1, Ottawa, Ontario, Canada

Su J.Z. and Muradori S. (2015) Fire demonstration – Cross-laminated timber stair/elevator shaft. National Research Council Canada, Client report: A1-004377.1, Ottawa, Ontario, Canada.

Janssens M. (2015) CLT compartment fire test results. Video presentation. <http://www.awc.org/Code-Officials/2015-IBC-Code-Changes> (accessed on 2015/10/26)

Frangi, A., and Fontana, M. (2005). Fire Performance of Timber Structures under Natural Fire Conditions. Fire Safety Science Symposium 8: 279-290. IAFSS, Beijing, China.

## **B.2 Studier gjennomgått i litteraturstudiet: Brannsikkerhet i bygg med massivtre**

Dette studie har basert seg på studiet til Brandon og Östman, og har derfor stortsett basert seg på de samme studiene. Men de har i tillegg sett på følgende studier:

Hasburgh L, Bourne K, Peralta P, Mitchell P, Schiff S, Pang W. Effect of adhesives and ply configuration on the fire performance of cross-laminated timber. I: WCTE 2016 CD-ROM Proceedings. Vienna, Austria; 2016.

Hopkin D, Schmid J, Friquin KL. Timber structures subject to non-standard fire exposure – advances and challenges. I: WCTE 2016 CD-ROM Proceedings. Vienna, Austria; 2016.

Buchanan AH. Fire resistance of multi-storey timber buildings. I Tsukuba, Japan; 2015.

Alam M, Hadjisophocleous G, Erochko J. Performance of hybrid connections exposed to fire. I: WCTE 2016 CD-ROM Proceedings. Vienna, Austria; 2016.

Zhang S, Wang W, Fan X. Fire behaviour of dowel-type timber connection with slotted in steel plates under bending and shear. I: WCTE 2016 CD-ROM Proceedings. Vienna, Austria; 2016

Crielaard R. Self-extinguishment of cross-Laminated timber [Master thesis]. [Delft]: Delft University of Technology; 2015.

## **B.3 Studier gjennomgått i litteraturstudiet: Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger**

D. Barber and R. Gerard, “Summary of the fire protection foundation report-fire safety challenges of tall wood buildings,” Fire Science Reviews, vol. 4, no. 1, p. 1, 2015.

O. Skidmore and L. Merrill, “Timber tower research project - final report,” SOM (2013), Chicago, USA, 2013.

J. Z. Su and G. D. Lougheed, “Fire safety summary: Fire research conducted for the project on midrise wood construction (Report to research consortium for wood and wood-hybrid mid-rise buildings),” NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA, Canada, A1-004377.1, Dec. 2014.

E. Karacabeyli and C. Lum, Technical guide for the design and construction of tall wood buildings in Canada. FPInnovations Pointe-Claire, QC, 2014.

E. Karacebeyli and B. Douglas, “CLT Handbook-US Edition,” Library and Archives Canada Cataloguing in Publication, Quebec, Canada, 2013.

A. I. Bartlett et al., “Auto-extinction of engineered timber: Application to compartment fires with exposed timber surfaces,” Fire Safety Journal, vol. 91, no. Fire Safety Science: Proceedings of the 12th International Symposium, Supplement C, pp. 407–413, Jul. 2017

I. Smith and A. Frangi, Use of timber in tall multi-storey buildings. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE), 2014.

B. Östman, J. König, J. Schmid, and A. Just, “Brandsäkra trähus 3 : nordisk-baltisk kunskapsöversikt och vägledning,” SP Rapport 2012:18, 2012.

“NS-EN 13501-2:2016 Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmotstandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer.” Standard Norge, 2016.

A. H. Buchanan, A. Dunn, J. O’Neill, and D. Pau, “Fire Safety of CLT Buildings in New Zealand and Australia,” Wood and Fiber Science, pp. 96–101, 2018.