



# Høgskulen på Vestlandet

## ING5002D - Master Thesis

ING5002D

### Predefinert informasjon

<b>Startdato:</b>	15-05-2023 12:00 CEST	<b>Termin:</b>	2023 VÅR
<b>Sluttdato:</b>	01-06-2023 14:00 CEST	<b>Vurderingsform:</b>	Norsk 6-trinns skala (A-F)
<b>Eksamensform:</b>	Masteroppgave		
<b>Flowkode:</b>	203 ING5002D 1 MOPPG 2023 VÅR		
<b>Intern sensor:</b>	(Anonymisert)		

### Deltaker

<b>Kandidatnr.:</b>	206
---------------------	-----

### Informasjon fra deltaker

<b>Antall ord *:</b>	17203
----------------------	-------

Egenerklæring \*: Ja

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? \*

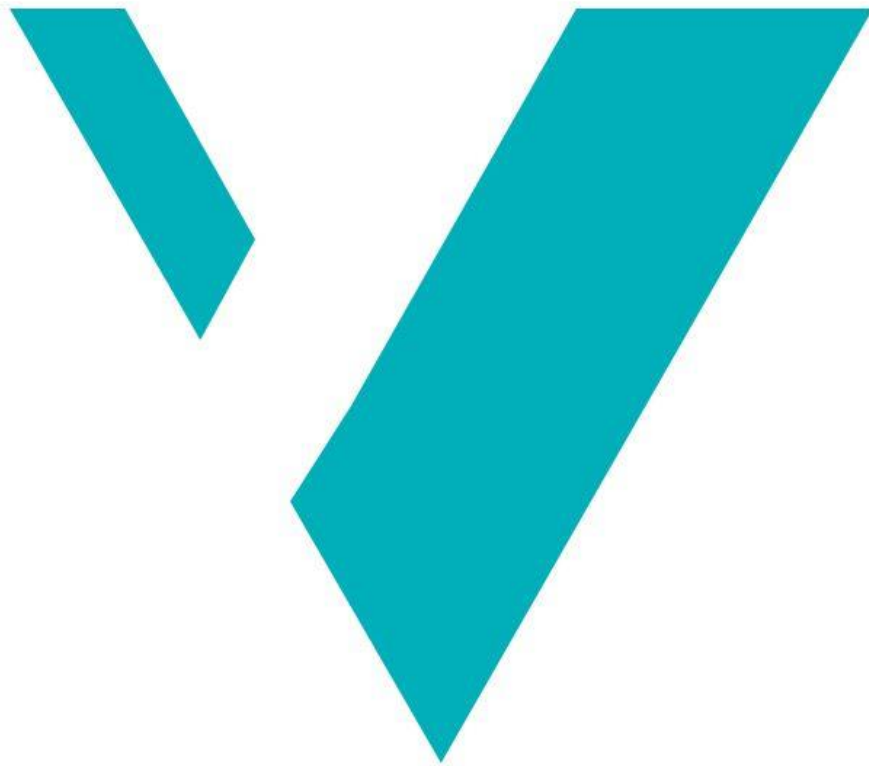
Ja, BUILDER – Building Design for At-Risk Groups.

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

Nei

# **Ulming i trekonstruksjon som følge av ekstern branneksponering - Forsøk med heltre søyler.**

## **Smoldering in wooden construction as a result of external fire exposure - Experiments with solid wood columns.**



Therese Rød

Høgskolen på Vestlandet

Masteroppgave i Brannsikkerhet

Bergen

1. Juni 2023



Høgskulen  
på Vestlandet

## TITTEL

### Masteroppgave i Brannsikkerhet

Forfatter:  
Therese Rød

Forfatter sign.

Therese Rød

Oppgaven uttatt:

Høst 2021

Åpen oppgave

Veileder: Bjarne Chr. Hagen, Vidar Frette og Sveinung Erland

Ekstern veileder:

Stikk ord:  
1/3 ISO-rom,  
Ulmebrann

Antall sider: 81  
+  
Vedlegg:1 (5 sider)

Bergen, 01.06.2023  
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 et 4 åring master program i brannsikkerhet ved HVL-Haugesund. Master utdannelsen har blitt tatt deltid ved siden av en stilling som senior ingeniør innen teknisk sikkerhet. Dette er den første eksperimentelle oppgaven jeg har utført, så dette har vært en bratt læringskurve, men veldig interessant og lærerikt.

Eksperimentene er utført i samarbeid med Marianne Dypå. Hun har sett på massivtre (KLT), men denne oppgaven tar for seg heltre. Enkelte kapitler i oppgaven til Therese Rød og Mariamme Dypå er i identiske dette er avklart med eksamenskontoret. Dette gjelder kapittel 3 Eksperimentelt oppsett.

Denne master oppgaven er en del av forskningsarbeidet som ligger under BUILDER – Building Design for At-Risk Groups. Dette er et prosjekt som er finansiert av Norges Forskningsråd.

Jeg vil takke våre interne veiledere Bjarne Chr. Hagen, Vidar Frette og Sveinung Erland for et godt samarbeid og nyttige innspill.

Jeg vil også takke min samboer og barn for deres tålmodighet og oppmuntring.

Therese Rød

Bergen, 1. juni 2023



## Sammendrag

Hovedmålsetningen med denne oppgaven er å undersøke stabiliteten til trekonstruksjoner etter at en trebygning har brent. Dette har blitt gjort ved å utføre 20 eksperimenter i Hall of Flames, brannlaben til høyskolen på Vestlandet. Det har blitt konstruert et nedskalert ISO-rom av siporexblokker til dette formålet.

Under de 20 forsøkene har 60 heltresøyler blitt utsatt for en flammebrann. Flammebrannen drives av propan som fordeles inn i forsøksrommet. Tilførselen av propan har for alle forsøkene pågått i 20 minutter, men nedkjølingsperioden etterpå har vært forskjellig fra forsøk til forsøk. Søylen som er plassert i forsøksrommet har vært ubehandlet og ikke påført noe last.

Som en del av masteroppgaven er det gjennomført en litteraturstudie. Det har her vært fokus på teori og kriterier for predikering av ulming i treverk.

Under forsøkene er det identifisert ulming i forsøksrommet og i søyler som var tatt ut av forsøksrommet. I de fleste av forsøkene har forsøksrommet vært lukket under nedkjølingsperioden. Det har derfor ikke vært mulig å observere hva som har foregått i rommet, men ved hjelp av termoelementer er temperatur økninger og nedganger i søyler og rommet dokumentert.

Av 20 forsøk er 9 forkastet på grunn av for høy temperatur (27 søyler). Av resterende 33 søyler er det 8 søyler som har ulmet. Sannsynligheten for ulming ser ut til å være størst i den midtdelen av søylen.



## Abstract

The main objective of this master's thesis is to investigate the stability of wooden structures after a wooden building has burned. This has been done by carrying out 20 experiments in the Hall of Flames, the fire lab of Western Norway, University of applied sciences. A scaled-down ISO room of siporex blocks has been constructed for this purpose.

During the 20 experiments, 60 solid wooden columns have been exposed to a flame fire. The flame fire is powered by propane which is distributed into the experimental room. The supply of propane has continued for 20 minutes in all experiments, but the cooling period afterwards has been different from experiment to experiment. The columns placed in the experimental room have been untreated and no load has been applied.

As part of the master's thesis, a literature study has been carried out. The focus here has been on theory and criteria for predicting smoldering fire in wood. During the tests, smoldering was identified in the experimental room and in columns that had been removed from the experimental room. In most of the experiments, the experimental room has been closed during the cool-down period. It has therefore not been possible to observe what has taken place in the room, but with the help of thermocouples, temperature increases and decreases in the columns and the experimental room have been documented.

Out of 20 experiments, 9 are discarded due to too high a temperature (27 columns). Of the remaining 33 columns, 8 have smoldered. The likelihood of smoldering appears to be greatest in the middle part of the column.





## Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag .....	III
Abstract .....	V
Innholdsfortegnelse .....	VII
Figur-liste .....	X
Tabell-liste .....	XIII
Definisjoner .....	XIV
1 Innledning.....	2
1.1 Bakgrunn .....	2
1.2 Problemstilling.....	2
1.3 Grensesnitt mellom oppgavene .....	2
1.4 Oppgavens oppbygging .....	3
2 Teori.....	4
2.1 Tre som byggemateriale.....	4
2.1.1 Heltre.....	5
2.1.2 Krysslaminert massivtre (KLT) .....	5
2.1.3 Limtre .....	5
2.2 Brann i trevirke .....	5
2.3 Ulmebrann.....	7
2.4 Brannforløp .....	7
2.5 Branntest av materialer.....	7
2.6 ISO-rom.....	8
2.6.1 Brenner .....	9
3 Eksperimentelt oppsett.....	10
3.1 Forsøksrom.....	10
3.1.1 Plassering av brenner og mengde-måler.....	12
3.1.2 Plassering og sikring av forsøksstykker .....	12
3.1.3 Plassering av termoelementer i forsøksrom .....	12
3.1.4 Plassering av termoelementer i forsøksstykker.....	13
3.2 Bygging av bokser/kasser for etterulming.....	15
4 Resultat.....	16
4.1 Vekt og fuktighet .....	19

4.2	Ulming i rommet .....	21
4.2.1	Forsøk #1 .....	21
4.2.2	Bilder av søyler forsøk #1 .....	22
4.2.3	Grafer forsøk #1.....	23
4.2.4	Forsøk #02 .....	25
4.2.5	Bilder av søyler forsøk #2 .....	25
4.2.6	Grafer forsøk #2.....	27
4.2.7	Forsøk #03 .....	27
4.2.8	Bilder av søyler forsøk #3 .....	28
4.2.9	Grafer forsøk #3 .....	30
4.2.10	Forsøk #08 .....	31
4.2.11	Bilder av søyler forsøk #8 .....	32
4.2.12	Grafer forsøk #8.....	33
4.2.13	Forsøk #17 .....	34
4.2.14	Bilder av bjelker forsøk #17.....	35
4.2.15	Grafer forsøk #17.....	36
4.3	Ulming utenfor rommet .....	37
4.3.1	Forsøk #16 .....	37
4.3.2	Bilder av søyler forsøk #16 .....	38
4.3.3	Grafer forsøk #16.....	40
4.4	Forsøk #7, #9 og #14 – Lave temperaturer .....	41
4.5	Forsøk #10, #11 og #12 - Høye temperaturer .....	41
4.6	Forsøk #13 og #15 - Åpen døråpning .....	41
4.7	Alt brant opp! .....	42
5	Diskusjon .....	45
5.1	Temperatur-eksponering .....	45
5.2	Ulming .....	48
5.2.1	Under 250°C.....	48
5.2.2	Over 250°C .....	48
5.2.3	Over 450°C .....	49
5.2.4	Forkulingshastighet .....	52
5.2.5	Søyler i boks.....	54
5.3	Påvirkning på forsøk .....	55

5.3.1	Påvirkning fra massivete søyler .....	55
5.3.2	Varmestråling .....	56
5.3.3	Material i brenner .....	57
5.4	Oppsummeringer .....	60
6	Konklusjon .....	62
7	Fremtidig arbeid .....	63
8	Referanser .....	64
9	Vedlegg.....	A
9.1	Vedlegg A – Testprosedyre.....	A

## Figur-liste

Figur 2-1: Prinsipptegning av grindbygd hus. Bilde er hentet fra bygg og bevar.no.(folkemuseum, 2021) .	4
Figur 2-2: Trevirke benyttet under Forsøkene. Bilde er hentet fra Obs bygg (98 x 98 Konstruksjonsvirke av gran, 2023).	5
Figur 2-3: Krysslaminert massive tre. Bilde er hentet fra Moelven.com/no (KL-tre (massivtre), 2023).	5
Figur 2-4: Limtre. Bilde hentet fra Moelven.com/no (Standard limtre gran, 2023.)	5
Figur 2-5: Fenomener involvert I forkullingsprosessen. Bildet er hentet fra Limtreboka, figur 15-4 (Limtreboka, 2015).	6
Figur 2-6: Sett fra siden	8
Figur 2-7: Sett oppe ifra	8
Figur 2-8: Fra ISO9705-1, Figure A.1-standard ignition source	9
Figur 3-1: Skisse av forsøksrom	11
Figur 3-2: Stålblater på toppen av forsøksrommet	11
Figur 3-3: Isolasjon plassert over stålblater	11
Figur 3-4: Ferdig forsøksrom med takplate	11
Figur 3-5: Brenner	12
Figur 3-6: Gass-regulator/logger	12
Figur 3-7: Brenneren er plassert sentrert på bakre vegg.	12
Figur 3-8: Plassering av de bakerste prøvestykkene, samt brenner. Sett gjennom takåpningen.	12
Figur 3-9: Plassering av prøvestykkene mitt i rommet, sett gjennom takåpningen.	12
Figur 3-10: Plassering av patentbånd. Sett ovenifra.	12
Figur 3-11: Plassering av termoelementer i rom	13
Figur 3-12: Plassering av søyler og termoelementer i forsøksrommet	13
Figur 3-13: Prøvestykker plassert i forsøksrommet	13
Figur 3-14: Skisse for plassering av temperaturelementer	14
Figur 3-15: Temperaturelementer festet til prøvestykker	14
Figur 3-16: Venstre side av ISO-rom, sett fra dør åpningen; Viser plasseringen av tremoelementene.	14
Figur 3-17: Høyre side av ISO-rom, sett fra dør åpningen; Viser plasseringen av tremoelementene.	14
Figur 3-18: Skisse for boks/kasse	15
Figur 3-19: Bokser	15
Figur 3-20: Boks med innvendig isolasjon over forsøkstykke	15
Figur 3-21: Boks med innvendig isolasjon under forsøkstykke	15
Figur 4-1: Plassering av søyler. Venstre side av rommet viser søyler som omtales i dette kapittelet.	16
Figur 4-2: Venstre side av forsøksrommet, sett oven i fra. Etter tak var fjernet.	22
Figur 4-3: Plassering av søyler under forsøk. Blå stjerne viser plassering av søyle som ulmet.	22
Figur 4-4: Søyle V1 - forsøk #1	23
Figur 4-5: Søyle V2 - forsøk #1	23
Figur 4-6: Søyle V3 - forsøk #1	23
Figur 4-7: Graf fra forsøk #1, termoelementer i rom og søyler.	24
Figur 4-8: Hull mellom blokker ved søyle V3	25
Figur 4-9: Rommet etter nedkjøling	25
Figur 4-10: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. Blå pil indikerer hvor hullet mellom blokkene var.	25
Figur 4-11: Søyle V1 - forsøk #2	26

Figur 4-12: Søyale V2 - forsøk #2.....	26
Figur 4-13: Søyale V3- forsøk #2.....	26
Figur 4-14: Graf fra forsøk #2, termoelementer i rom og søyler. ....	27
Figur 4-15: Bilde tatt rett etter fjerninga av "dør" .....	28
Figur 4-16: Bilde tatt etter tak er fjernet.....	28
Figur 4-17:Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. ....	28
Figur 4-18: Søyale V1- forsøk #3.....	29
Figur 4-19: Søyale V2- forsøk #3.....	29
Figur 4-20: Søyale V3- forsøk #3.....	29
Figur 4-21: Graf fra forsøk #3, termoelementer i rom og søyler. ....	30
Figur 4-22: Søyale V2 før de ble brukt vann til å kjøle ned rommet og søylene. ....	31
Figur 4-23: Søyale V2 (vist med rødt rektangel) etter at brannen hadde blitt slukket med vann. ....	31
Figur 4-24: Dagen etter var den midtre delen av søyle V2 smuldret vekk. Resterende deler av søyle V2, er markert med rødt rektangel.....	31
Figur 4-25:Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. ....	32
Figur 4-26: Søyale V1 - forsøk #8.....	32
Figur 4-27: Søyale V2 - forsøk #8.....	32
Figur 4-28: Søyale V3- forsøk #8.....	32
Figur 4-29: Graf fra forsøk #8, termoelementer i rom og søyler. ....	33
Figur 4-30: Venstre side av forsøksrommet, sett oven i fra. Bilde viser tilstand i forsøksrommet rett etter taket er fjernet. Etter bilde ble tatt ble de påført vann for å kjøle ned søylene.....	34
Figur 4-31: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. Søyer med ulming er vist med blåstjerne. ....	35
Figur 4-32: Søyale V1- forsøk #17.....	35
Figur 4-33: Søyale V2- forsøk #17.....	35
Figur 4-34: Søyale V3- forsøk #17.....	35
Figur 4-35: Graf fra forsøk #17, termoelementer i rom og søyler. ....	36
Figur 4-36: Mellomrom mellom rom og gipsplate. ....	37
Figur 4-37: Etter rommet ble åpnet. ....	37
Figur 4-38: Etter taket er fjernet (ca. 3 timer etter forsøket startet).....	38
Figur 4-39: Søyale V2 etter den var fjernet fra rommet (ca. 35 minutter etter taket var fjernet). ....	38
Figur 4-40: Søyale V2 ca. 15 timer etter stykke var fjernet fra rommet. ....	38
Figur 4-41:Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. ....	38
Figur 4-42: Søyale V1- forsøk #16.....	39
Figur 4-43: Søyale V2- forsøk #16.....	39
Figur 4-44: Søyale V3- forsøk #16.....	39
Figur 4-45: Graf fra forsøk #16, termoelementer i rom og søyler. ....	40
Figur 4-46:Graf fra forsøk #7. En time ut i nedkjølingen er det under 300 °C i forsøksrommet. Dette gjelder også for forsøk #9 og #14. ....	41
Figur 4-47: Rødglødende stålplate. Bildet er tatt ved å løfte opp takplatene (forsøk #6). ....	42
Figur 4-48: Bilde er tatt rett etter vann er hevet inn i rommet. Takplatene er rødglødende (forsøk #19). ....	42
Figur 4-49: Tilstand i rommet da døren ble åpnet (etter nedkjølingsperioden) forsøk #6. ....	43
Figur 4-50: Forsøksrommet etter at forsøk #4 var ferdig.....	43
Figur 4-51: Forsøk #5, hull mellom tetning materiell og forsøksrommet. ....	43

Figur 4-52: Forsøk #5, Det oppstå et hull på undersiden av forsøksrommet. som førte frisk luft inn i rommet.....	43
Figur 4-53: Temperatur som funksjon av tid for forsøk #20. En periode under nedkjølingsfasen var temperaturen i rommet og temperaturen i søylene tilnærmet like.....	44
Figur 5-1: Temperaturutviklingen for HTA, HTB, VTC og VTD høy under forsøk #7. Disse termoelementene er plassert høyt i forsøksrommet. Den grønne linjen er ISO834 kurven. ....	46
Figur 5-2: Temperaturutviklingen i HTA, HTB, VTC og VTD høy under Forsøk #4. Disse termoelementene er plassert høyt i forsøksrommet. Den grønne linjen er ISO834 kurven. ....	47
Figur 5-3: Temperatur stigning under forsøk #7 for alle termoelementer plassert inne i søylene. Maks temperatur i søylene er under 250 °C gjennom hele forsøket. Mørkeblåprikkete linjen viser hvor 250 °C ligger.....	48
Figur 5-4: Temperatur stigning under forsøk #13 for alle termoelementer plassert inne i søylene. Maks temperatur i søylene er over 250 °C i en kort periode. Mørkeblå prikkete linjen viser hvor 250 °C ligger. ....	49
Figur 5-5: Forsøk #2, søyle V3 har en temperaturstigning over 450°C (markert med oransjeprikkete linje) under forsøk #2. Tilsvarende stigninger er også observert i søyle V3 for forsøk #1 og #3. ....	50
Figur 5-6: Forsøk #8, Søyle V3 høy og V2 høy har en temperaturstigning på over 450 °C.....	50
Figur 5-7: Forsøk #16, Søyle V2 ulmet etter den var fjernet fra forsøksrommet. Den svarte stiplede rektangelet viser tidsrom det var et mellomrom mellom rom og gipsplate. Mellomrommet har ført at forsøksrommet har fått tilgang på ekstra luft, som har ført til mere turbulente forhold enn vanlig. På slutten av den forsøken er de en pågående temperatur økning i søyle V2 lav, det er denne som senere ulmer. ....	51
Figur 5-8: Forsøk #17, søylen V1 og V3 - høy har en temperaturøkning over 450 °C. ....	52
Figur 5-9: Temperaturutvikling i søylene de 20 første minuttene fra forsøk #2.....	53
Figur 5-10: Plassering av søyler. ....	53
Figur 5-11: Forsøk #2, søyle V3: Øvre del av søylen (70-80 cm) .....	54
Figur 5-12: Forsøk #2, søyle V3: Noen cm under toppen er det upåvirket trevirke (60-70 cm) .....	54
Figur 5-13: Forsøk #2, søyle V3: Noen cm under toppen er det upåvirket trevirke (50-60 cm) .....	54
Figur 5-14: Forsøk #17, søyle V3: Øvre del av søylen (30-40 cm) .....	54
Figur 5-15: Forsøk #17, søyle V3: Noen cm under toppen er det upåvirket trevirke (20-30 cm) .....	54
Figur 5-16: Forsøk #17, søyle V3: Noen cm under toppen av søylen (10-20 cm). ....	54
Figur 5-17: Bilde er tatt inn gjennom den åpne døren under forsøk #10. Viser søyle V2 som er plassert i midten av rommet. Rundt den nedre delen av søylen kan de observeres lameller som har falt av. Den nedre delen av søyle V2 har en mindre gjenstående diameter en den øvre del av søylen.....	56
Figur 5-18:Plassering av søylene i forsøksrommet, sett oven i fra. Søyle V1, V2 og V3 er av heltre og søyle H1, H2 og H3 er av massivet tre. ....	56
Figur 5-19: De tre stålplaten viste etter forsøk 9 var gjennomført tydelige tegn til deformasjon. ....	57
Figur 5-20: Små biter løsnet fra stålplatene.....	57
Figur 5-21: Innholdet i brenner etter forsøk #9. Bilde er tatt før brenneren ble rensset. ....	58
Figur 5-22: Innholdet i brenneren før forsøk #10 ble gjennomført. Bilde er tatt etter brenneren ble rensset.....	58
Figur 5-23: Tilstanden oppi brenneren etter forsøk #10 var ferdig. Deler av sanden er mørkere grunnet vann som er påført flammene.....	58
Figur 5-24: 90 % av kattesanden ble byttet ut før forsøk #11. De nederste laget som var plassert over nettingen ble ikke fjernet.....	58

Figur 5-25: Brenneren ble tømt før forsøk #13 og #16. Nettingen dekker ikke hele arealet til brenneren.	59
Figur 5-26: Kattesanden i brenneren ble byttet før forsøk #18 til ny type.	59
Figur 5-27: Bilde fra forsøk #8, søyle V3 (40-50 cm opp fra bunn) sprekk i søyle (rød ring rundt), ingen aske.	61
Figur 5-28: Bilde fra forsøk #16, søyle V1 viser sprekk i søyle med aske.	61
Figur 9-1: Forsøkstykket med plassering for termoelement	9.1-1
Figur 9-2: Merking av forsøkstykkene	9.1-2
Figur 9-3: Merking av bunnen av forsøkstykkene	9.1-2
Figur 9-4: Plassering av termoelementer i heltre	9.1-3
Figur 9-5: Plassering av termoelementer i rom, gjennom vegg (Venstre side)	9.1-3
Figur 9-6: Plassering av termoelementer i KLT	9.1-3
Figur 9-7: Plassering av termoelementer i rom, gjennom vegg (Høyre side)	9.1-3

## Tabell-liste

Tabell 4-1: Oppsummering av utførte forsøk	17
Tabell 4-2: Vekt og fuktighet for alle forsøkene	19
Tabell 5-1: Forsøk #2, temperatur utvikling i rommet de første 20 minuttene	52
Tabell 5-2: Oversikt over forsøk som har ulmet	60
Tabell 9-1: Eksempel på logg av vekt og fuktighet	9.1-2
Tabell 9-2: Plassering av termoelementer i forsøkstykker	9.1-2
Tabell 9-3: Plassering av termoelementer i forsøksrom	9.1-2
Tabell 9-4: Eksempel på logg til bruk etter brannforløp (alternativ 1)	9.1-4
Tabell 9-5: Eksempel på logg til bruk etter brannforløp	9.1-5



## Definisjoner

Ulmebrann	Sen reaksjon som inntreffer ved lav temperatur og som kjennetegnes ved at det ikke er flammer i forbrenningssonen.
Høyhus	Høyhus i Norge defineres som et bygg med mer enn 10 – 12 etasjer (Rygh, 2023).
Massivtre	Krysslaminert massivtre (KLT)
Delaminering	Er når lamellene i massivtre elementer løsner fra hverandre

# 1 Innledning

Tre som byggemateriale har lange tradisjoner i Norge og resten av verden. Men når det gjelder å bygge høye bygninger har det foretrukne materialet vært betong og stål. De seneste årene har det vært et økende søkelys på å bygge mere miljøvennlig. Dette har ført til en økt interesse for å bygge med tre.

I Norge er Treet med sine 14 etasjer (Solberg, 2015) og Mjøstårnet med sine 18 etasjer (Moelven, 2019) eksempler høyhus bygget i tre. Tradisjonelt i Norge har trebygninger bare vært 3-4 etasjer. Vi lever i en tid med økt urbanisering og tilgangen på tilgjengelige tomter blir mindre. Det er ønskelig å utnytte tomtene maksimalt. Høyhus i tre kan dermed bli en god løsning (Gonzalez-Retamal et al., 2022).

## 1.1 Bakgrunn

Bjørn Røste Dalen skrev en masteroppgave med tittelen Overflatebehandling av krysslaminert tre ved Høgskolen Vestlandet våren 2021 (Dalen, 2021). I forsøkene utført av Dalen ble det observert ulmebrann i noen av forsøksstykkene etter at den gassmatede brenneren var slukket, og det er dette som ligger til grunn for denne oppgaven.

## 1.2 Problemstilling

En vanlig tilnærming er å anta at den strukturelle styrken som er i trevirke når en brann er slukket opprettholdes. Funn fra forsøk utført av Dalen (Dalen, 2021) viser at i noen tilfeller ble forsøksstykkene fullstendig utbrent etter at brannen var slukket, dette skyldes mest sannsynlig ulmebrann inne i selve forsøksstykkene. Dersom det er en risk/fare for at nedbrytingen av konstruksjonsvirke også pågår etter at brannforløpet er slukket, så vil dette få en konsekvens for både strukturell design og muligheten for brannvesenet til å bevege seg inn i et brannskadd bygg i etterkant av en brann.

I denne masteroppgaven vil prøve å:

- 1) Vurdere hvordan direkte eksponering fra brann påvirker heltre, med hovedfokus på ulming i forventet nedkjølingsfase.
- 2) Identifisere/evaluere eventuelle faktorer som kan predikere ulmebranner i en tidlig fase av brannforløpet.

## 1.3 Grensesnitt mellom oppgavene

Alle eksperimentene er utført som et samarbeid mellom Therese Rød og Marianne Dypå (Dypå, 2023). Utføringen av forsøk i «Hall of Flames», brannhallen tilhørende høyskolen på Vestlandet, krever av sikkerhetsmessige årsaker tilstedeværelse av minimum to personer. Det ble totalt utført 20 forsøk og for hvert forsøk ble det brent tre søyler av heltre og tre søyler av massivetre. Ved å utføre forsøkene med to forskjellige materialer i samme forsøksrom er det mulig å direkte sammenligne datamateriale for de to materialtypene.

Resultater for heltresøylene er beskrevet og diskutert i masteroppgaven til Therese Rød, mens resultater for massivetresøylene er beskrevet og diskutert i masteroppgaven til Marianne Dypå.

Ettersom forsøkene er utført sammen vil enkelte av kapitlene i disse to masteroppgavene være like, dette er avklart med eksamenskontoret. Dette gjelder kapittel 3. Dessuten kan kapittel 4 Resultat inneholde noe felles, da dette kapitlet tar for seg de utførte forsøkene.

## 1.4 Oppgavens oppbygging

**Kapittel 1, Innledning:** Gir en kort introduksjon til oppgaven.

**Kapittel 2 Teori:** En kort innføring i den mest relevante teorien tilknyttet oppgaven.

**Kapittel 3 Eksperimentelt oppsett:** Gir en oversikt over hvordan disse forsøkene er utført.

**Kapittel 4 Resultat:** Grundig gjennomgang av resultatene fra de 20 forsøkene. Bare heltresøylene vil bli omtalt.

**Kapittel 5 Diskusjon:** Inneholder diskusjoner rundt funn og observasjoner dokumentert i kap.4.

**Kapittel 6 Konklusjon:** Et kort sammendrag av funnene.

**Kapittel 7 Fremtidig arbeid:** Kommer med noen anbefalinger og forslag til forbedringer av eksperimenter.

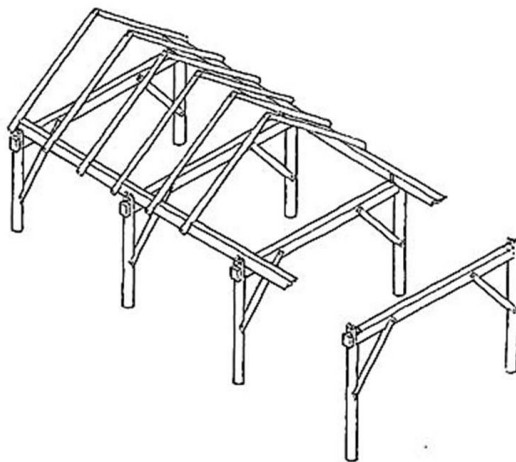
## 2 Teori

Dette kapitlet vil inneholde en oversikt over de viktigste temaene som blir dekket av oppgaven. Denne masteroppgave er basert på eksperimenter som er utført i ett nedskalert forsøksrom. Elementer fra teori kapitlet vil derfor blir tatt opp og diskutert i kapitlet 5.

### 2.1 Tre som byggemateriale

Tre som byggemateriale har sterke tradisjoner i Norge og har blitt brukt i hele landet. Tre har blitt brukt i laftete bygninger siden 1000 tallet. Grindverk er sannsynligvis forløperen til stavkonstruksjonen som finnes i stavkirkene og denne konstruksjonsteknikken har blitt brukt helt siden bronsealderen.

Grindverksbygg er en enkel konstruksjon hvor to stolper eller staver bærer en tverrliggende stolpe. Se Figur 2-1 for prinsippskisse (Flatland, 2007).



Figur 2-1: Prinsipptegning av grindbygd hus. Bilde er hentet fra bygg og bevar.no.(folkemuseum, 2021)

De senere årene har det blitt populært å bruke treverk i høyere bygninger i Norge og i utlandet eksempler fra Norge er Treer i Bergen og Mjøstårnet i Brumunddal. Andre eksempler fra utlandet er Liftecycle tower i Dornbirn, Østerrike og Ascent i Wisconsin, USA.

Treet har et bæresystem av limtre. Trapper og heissjakter er laget av massivtre. Leilighetene er basert på moduler (Treet, 2023). Mjøstårnet har en bærende limtrekonstruksjon og etasjene er Trä 8 gulvelementer som er limtre basert (Slik monteres en verdensrekord, 2018).

Å bygge høyhus i massivt tre er ansett som mere miljøvennlig enn å bygge i betong. Byggenæringen står for ca. 40 % av CO<sub>2</sub>-utslippene. Ved å bygge i massivtre kan man redusere karbonfotavtrykket til ca. halvparten (Nordal, 2016).

### 2.1.1 Heltre

Tresøylene som er brukt i forsøkene er konstruksjonsvirke (kjerneved) av gran. Størrelsen på søylene er 98 x 98 mm. Konstruksjonsvirke er beregnet til bruk i bærende konstruksjoner som stendere, søylelag, sperrer og taksøyler. Brukes også til produksjonen av limtre. Fasthetsklasse på trevirke er C24 (98 x 98 Konstruksjonsvirke av gran, 2023).



Figur 2-2: Trevirke benyttet under Forsøkene. Bilde er hentet fra Obs bygg (98 x 98 Konstruksjonsvirke av gran, 2023).

### 2.1.2 Krysslaminert massivtre (KLT)

Massivtre (KLT) er større plater eller skiver av krysslimte granplanker. Lameller limes med fiberretningen rotert 90° mellom lagene. Massivtre er blant annet bruk som byggemateriale i Mjøstårnet.



Figur 2-3: Krysslaminert massiv tre. Bilde er hentet fra Moelven.com/no (KL-tre (massivtre), 2023).

### 2.1.3 Limtre

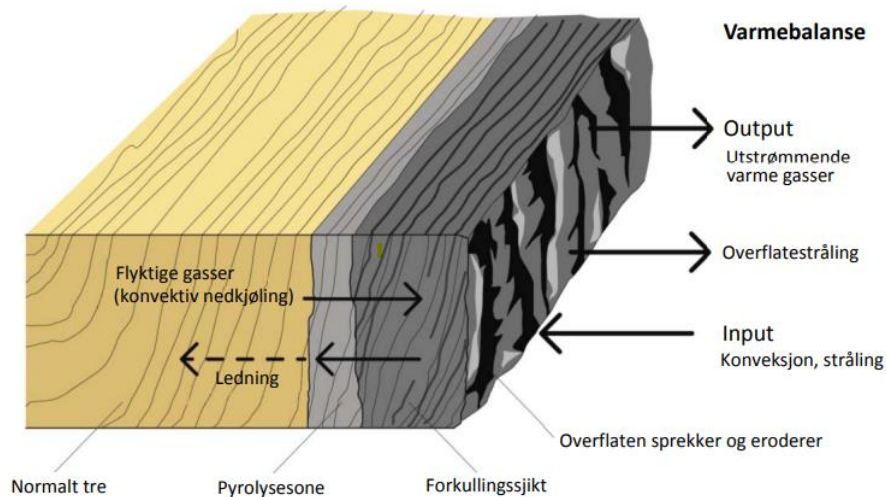
Limtre tilvirktes av lameller som limes sammen. Lamelltykkelsen skal være 6 til 45 mm. Fiberretningen må falle sammen med lengderetningen (Limtreboka, 2015).



Figur 2-4: Limtre. Bilde hentet fra Moelven.com/no (Standard limtre gran, 2023.)

## 2.2 Brann i trevirke

Når tre brenner, foregår det en termisk nedbrytning. På område som er i nærheten av flammer eller blir påvirket av stråling vil det danne seg et forkullet lag. Det forkullede laget har en ujevn overflate med sprekker. Hvor varme gasser kan slippe ut fra trevirket og bli involvert i den videre prosessen. Under området som er forkullet, er en pyrolysesone. Pyrolysesonen vil forflytte seg lenger inn i trevirke jo lengre prosessen pågår. Trevirke som er bak pyrolysesonen, er upåvirket normalt trevirke. Figur 2-5 for viser forbrenningsprosessen. Det forkullede område vil også bidra til å isolere de upåvirkede trevirke fra videre nedbrytning (Limtreboka, 2015).



Figur 2-5: Fenomener involvert i forkullingsprosessen. Bildet er hentet fra *Limtreboka*, figur 15-4 (*Limtreboka*, 2015).

Tre er et organisk material som har et høyt vanninnhold. Når temperaturen øker i trevirke, vil dette starte en prosess hvor vannet fordamper og trevirke tørker. Ved 120°C vil nedbrytningen av trevirke starte og ved 170°C vil pyrolyse prosessen starte (*Limtreboka*, 2015).

Forbrenningen den termiske nedbrytningen av trevirke virker fra den eksponerte flaten og innover i trematerialet. Denne nedbrytningrn foregår ved en bestemt hastighet. Hastigheten varierer i forhold til treslag, temperatur, varmetilførsel og ventilasjon. Dybden på det ødelagte trevirke i en brann er tilnærmet proporsjonal med eksponert tid (*Limtreboka*, 2015).

Eurokode 5 (en 1995-1-2:2004) gir en forkullingsrate for massivt tømmer med en karakteristisk tetthet på  $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ ,  $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$  og  $\beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$  (hentet fra tabell 3.1). Disse verdiene gjelder for trestykker med en tykkelse på 20 mm. (*Eurokode 5: Prosjektering Av Trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk Dimensjonering*, 2010).

For ubeskyttet overflater under branneksponeing kan formelen brukes:

$$d_{char,o} = \beta_0 \times t = 0,65 \text{ mm/min} \times 20 \text{ min} = 13 \text{ mm}$$

$d_{char,o}$ : er design forkullingsdybde for endimensjonal forkulling

$\beta_0$ : er den endimensjonale designforkullingshastigheten under standard branneksponeing

t: er tidspunktet for branneksponeing(*Eurokode 5: Prosjektering Av Trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk Dimensjonering*, 2010).

Forkullingsraten tar ikke hensyn til de ulike faser i forkullingsprosessen eller delaminering.

## 2.3 Ulmebrann

En ulmebrann er en sen reaksjon som inntreffer ved lav temperatur og som kjennetegnes ved at det ikke er flammer i forbrenningssonen. Typiske temperaturer for en ulmebrann er 450 -700°C. Ulmebranner er gjerne kontrollerte av tilgang til oksygen og varmetap. Ulming er en ufullstendig forbrenning som resulterer i en karakteristisk lukt (Rein, 2016).

Ved ulming vil varmen spres inn i trevirke og forvarme forsøksstykket slik at vann og organiske forbindelser fordamper. Pyrolyse prosessen vil starte omtrent ved 250 °C for cellulose. Videre oppvarming over denne temperaturen øker pyrolysehastigheten og forkullingen. Ulming sprer seg på en sakte /krypende måte med en hastighet på rundt 1 mm/min. Dette er mye langsommere enn spredning av en flammebrann (Rein, 2016).

I forsøk som er utført under kontrollerte forhold er det observert at 250°C er den laveste temperaturen som kan igangsette en ulmeprosess. For at en ulmeprosess skal kunne utvikle seg må det høyere temperaturer til (Babrauskas, 2021).

Ved en flammebrann foregår forbrenningen på overflaten, men ved en ulmebrann foregår prosessen lengre nede i materialet. Når den oksiderende fronten pågår i dybden vil forkullingen på toppen av materiale fungere som et isolerende lag. Hva som er den kritisk dybde er ikke fastlagt men den er antatt å variere fra 1 til 10 cm (Rein, 2016).

## 2.4 Brannforløp

Et brannforløp kan deles inn i fasene antennelse, vekst, fullt utviklet brann og en avkjølings fase.

I en vekstfase vil brannen vokse så lenge det er tilstrekkelig med oksygen og brennbart materiale tilgjengelig. På et tidspunkt ut i brannforløpet vil ikke brannen lenger kunne vokse. Dette kan være på grunn av lite tilgang på brensel eller at brannen ikke har tilstrekkelig tilgang på oksygen. Når brannen har nådd sin maksimale effekt vil denne opprettholdes til det skjer ytterligere endringer som endringer i tilgang til luft eller brensel.

Avkjølingsfasen blir i denne oppgaven definert som tiden etter tilførselen til gassbrenneren er kuttet (etter 20 minutter).

## 2.5 Branntest av materialer

Branntesting av materialer gjøres i fullskalaovn. For at materialer skal kunne sammenlignes, må forsøkene utføres etter standardiserte testprosedyrer. En av dem mest vanlige er ISO-834 kurven. Materialene som testes blir etter testen klassifisert slik at brukeren kan være sikker på at materialene tilfredsstiller kravene til brannklassifiseringen.

I henhold til ISO-834 kurven skal den gjennomsnittlige temperaturen i ovnen følge ligningen:

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

Her er  $T$  er den gjennomsnittlige ovnstemperaturen i °C og  $t$  er tiden i minutter. (ISO 834-1, Fire Resistance Forsøk-Elements of Building Construction, 1999)

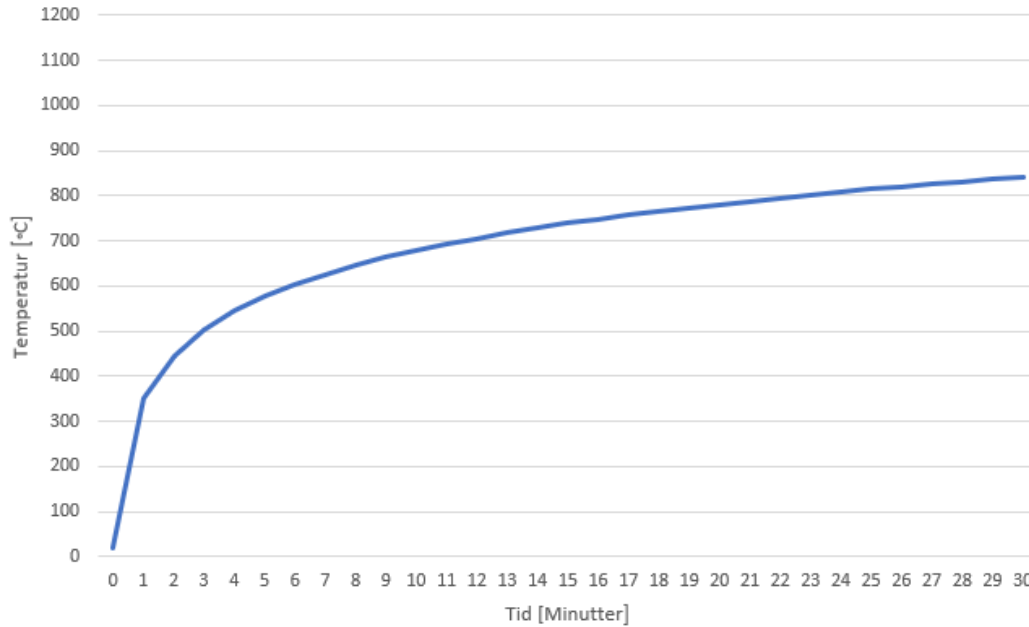
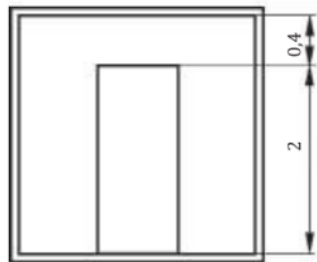


Figure 2.5-1: ISO 834 kurven.

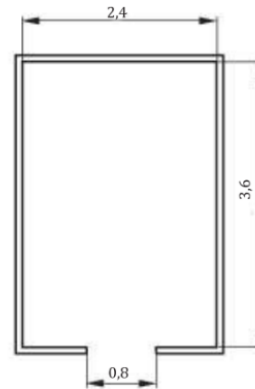
## 2.6 ISO-rom

Hvordan byggelementer som tak, vegger og søyler oppfører seg i en brann kan testes i et ISO-rom. ISO rommene konstrueres i henhold til krav i ISO9705-1 og ISO9705-2.

ISO - rommet har standardisert utforming, se Figur 2-6 og Figur 2-7 for dimensjoner. ISO - rommet har en høyde på 2,4 m og er bygget med blokker som har en minimum tykkelse på 20 mm. (ISO 9705-1:2016, Reaction to Fire Forsøk-Room Corner Forsøk for Wall and Ceiling Lining Products, 2016)



Figur 2-6: Sett fra siden



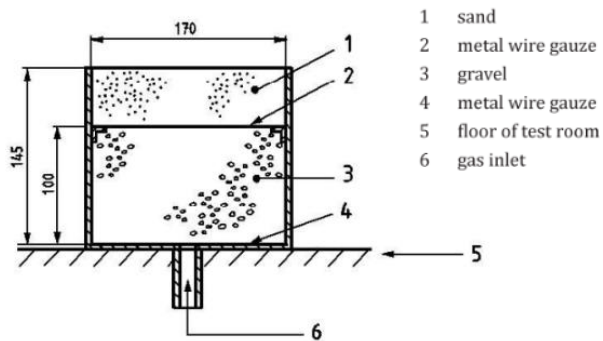
Figur 2-7: Sett oppe ifra

I forsøkene som gjort i denne master oppgaven er det benyttet ett nedskalert ISO rom. Ved bruk av et nedskalert ISO rom vil man bruke mindre av materialer som skal testes og mindre gass. For størrelse på ISO - rommet som er brukt under forsøkene, se kapittel 3.



### 2.6.1 Brenner

Brenneren er plassert lengst inne i rommet. Brenneren blir brukt til å distribuere gassen inn i rommet.



I henhold til ISO 9705, vedlegg A skal brenner være fylt med et lag grus. Grusen skal ha en størrelse på 4 til 8 mm og et lag sand. Sanden skal ha en størrelse på 2 til 3 mm. Lagene er skilt med et metallnett, se Figur 2-8.

Som et alternativ kan det også brukes et 100 mm lag med Ottawa sand. (ISO 9705-1:2016, *Reaction to Fire test-Room Corner test for Wall and Ceiling Lining Products*, 2016)

Figur 2-8: Fra ISO9705-1, Figure A.1-standard ignition source

### 3 Eksperimentelt oppsett

Formålet med oppgaven er å se nærmere på hvordan søyler av ulikt trevirke påvirkes av langvarig varmeeksponering. Forsøkene er gjennomført ved å plassere tresøyler i et forsøksrom bygget opp av lettbetongelementer, søylene ble så eksponert for ekstern brannbelastning fra en brenner i 20 minutter.

Forsøkene i denne rapporten bygger videre på arbeidet til Bjørn Røste Dalen (Dalen, 2021), med et tilsvarende oppsett. Første del av metoden er satt opp for å etterligne forsøkene beskrevet i Dalens Master oppgave, mens del 2, er unikt for denne oppgaven.

En eksperimentell tilnærming er valgt for oppgaven og dette kapittelet beskriver forsøksoppsett. Prosedyren er utformet slik at forsøkene skal kunne etterprøves av andre.

Forsøk ble gjennomført i henhold til metode beskrevet i Vedlegg A – Testprosedyre.

#### 3.1 Forsøksrom

Figur 3-1 viser en satt skisse av rommet. Hvor forsøkene ble gjennomført. Forsøksrommet ble laget av Siporex-blokker. Siporex er et porebetongprodukt og ble benyttet da materialet har lav vekt, det er lett å sage/tilpasse, er motstandsdyktig mot vann og har gode varmeisolerende egenskaper.

To typer Siporex-blokker ble benyttet for å bygge forsøks-rommet:

- Gulv: 600 x 400 x 25 mm
- Vegg: 200 x 200 x 600 mm

Blokkene ble tilpasset slik at ønsket størrelse og form på forsøksrommet ble oppnådd. Som festemiddel ble det benyttet Infra Fliselim. De innvendige målene tilsvarer 1/3 ISO-rom.

#### Utvendige mål:

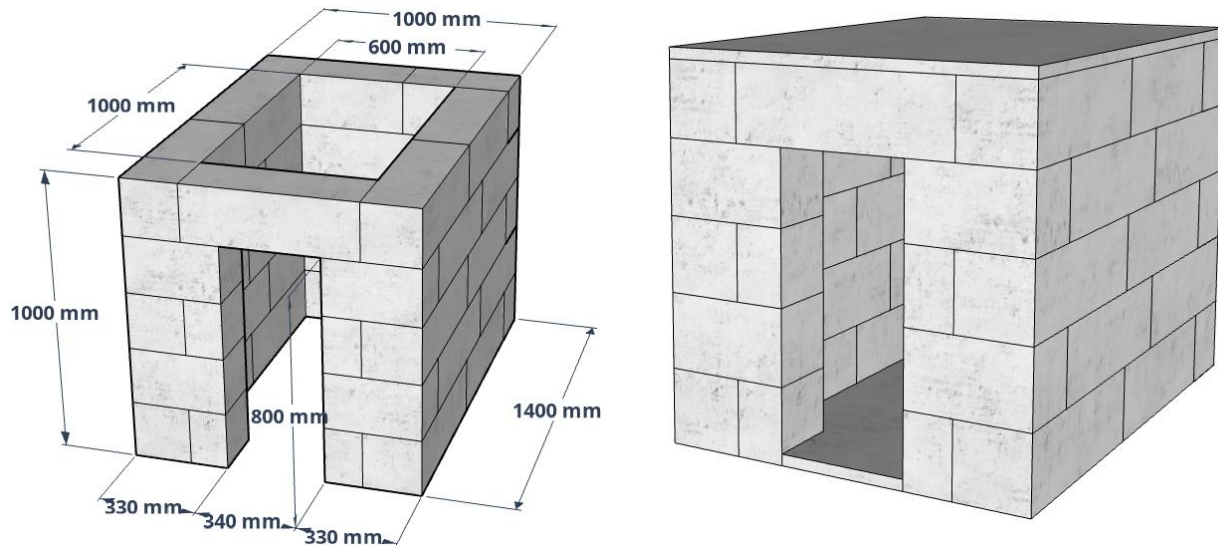
- Bredde: 1000 mm
- Lengde: 1400 mm
- Høyde: 1000mm

#### Innvendige mål:

- Bredde: 600 mm
- Lengde: 1000 mm
- Høyde: 975mm

#### Døråpning:

- Bredde: 340 mm
- Dybde: 200 mm
- Høyde: 800 mm



Figur 3-1: Skisse av forsøksrom

Som fundament for forsøksrommet ble det benyttet en Euro-pall. Videre ble det plassert to lag med sponplater som ble festet til pallen ved hjelp av skruer. Rommet ble bygget på en Europalle for å muliggjøre flytting av rommet. Fotavtrykket til rommet var noe større enn overflaten på Europallen, noe som etter hvert ga strukturelle utfordringer. Det anbefales at dersom en tilsvarende forsøksfasilitet skal bygges opp må arealet av Europallen være større enn foravtrykket til forsøksrommet.



Figur 3-2: Stålplater på toppen av forsøksrommet



Figur 3-3: Isolasjon plassert over stålplater



Figur 3-4: Ferdig forsøksrom med takplate

Som takkonstruksjon ble det benyttet en kombinasjon av stålplater og en større Siporex-plate med en tykkelse på 25 mm. Tre stykk stålplater (1000 mm x 500 mm x 2 mm) ble lagt med overlapp slik at de dekket hele takåpning, disse hadde som hensikt å skjerme selve Siporex-platen for direkte flammer, dette er vist i Figur 3-2 til Figur 3-4. Et lag isolasjon ble lagt på toppen av rommet før stålplatene ble lagt på (Figur 3-2), et nytt lag isolasjon ble så lagt oppå stålplatene (Figur 3-3) og til slutt ble siporexplate lagt på (Figur 3-4). Dette ble gjort for å tette igjen så godt som mulig for å forhindre røyk fra å komme ut (for å tette rommet).

### 3.1.1 Plassering av brenner og mengde-måler

Figur 3-5 viser et bilde av brenneren som ble benyttet, denne ble plassert innerst i rommet. Som granulat for å fordele gassen som mates inn i brenneren ble det benyttet kattesand. Plassering av brenner i rom er vist på Figur 3-8. Som brenngass ble det benyttet propan ( $C_3H_8$ ), mengde brenngass ble regulert gjennom en flow-ventil styrt med Brooks 52xx (programvare). Figur 3-6 viser gass-regulatoren som ble benyttet.

Mål brenner:

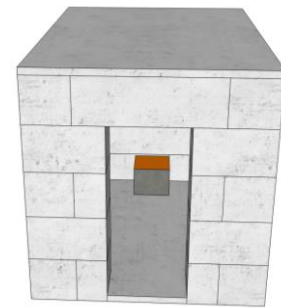
- Høyde 160 mm
- Bredder 205 mm
- Lengde 205 mm



Figur 3-5: Brenner



Figur 3-6: Gass-regulator/logger



Figur 3-7: Brenneren er plassert sentrert på bakre vegg.

### 3.1.2 Plassering og sikring av forsøksstykker

For å sikre at prøvestykkene beholdt plasseringen under forsøkene er det plassert mindre stykker med Siporex og vinkelhjern på gulvet, se Figur 3-8 til Figur 3-10.

I overkant av forsøksstykkene ble det benyttet patentbånd for å hindre stykkene fra å velte, forsøksstykkene ble festet til patentbåndet med skruer, se Figur 3-10.



Figur 3-8: Plassering av de bakerste prøvestykkene, samt brenner. Sett gjennom takåpningen.



Figur 3-9: Plassering av prøvestykkene midt i rommet, sett gjennom takåpningen.

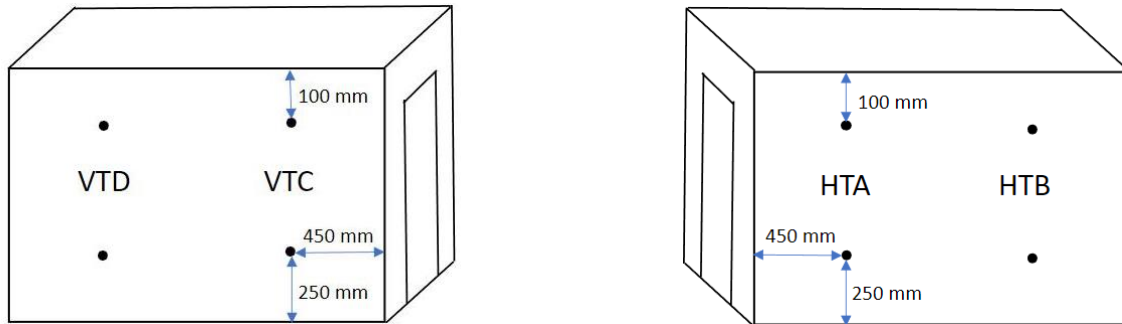


Figur 3-10: Plassering av patentbånd. Sett ovenifra.

### 3.1.3 Plassering av termoelementer i forsøksrom

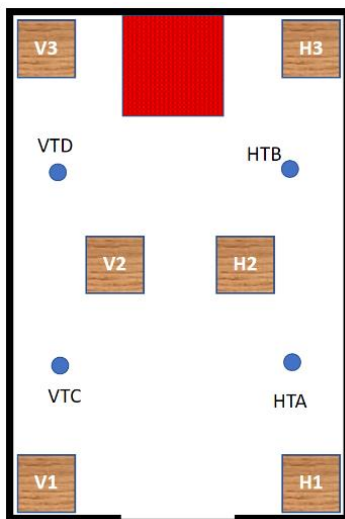
Det ble plassert åtte termoelementer i selve forsøksrommet. Termoelementene ble plassert i to nivåer. De fire nederste/laveste ble plassert ca. 250 mm opp fra gulvet og det øverste nivået ble plassert ca. 100

mm ned fra taket. Elementene ble plassert ca. 450 mm fra endeveggene og ca. 70 mm inn i rommet, se Figur 3-11.



*Figur 3-11: Plassering av termoelementer i rom*

Figur 3-12 viser plassering av søyler, brenner og temperaturelementer sett ovenfra. V1, V2 og V3 viser plassering av heltresøyler. H1, H2 og H3 viser plassering av KLT-søyler. De blå prikkene HTA, HTB, VTC og VTD viser plassering av termoelementene rommet. Den røde firkanten viser plasseringen av brenneren. Den enkle streken mellom V1 og H1, viser plassering av døren. Figur 3-13 viser forsøksoppsett med både heltre og KLT-søyler.



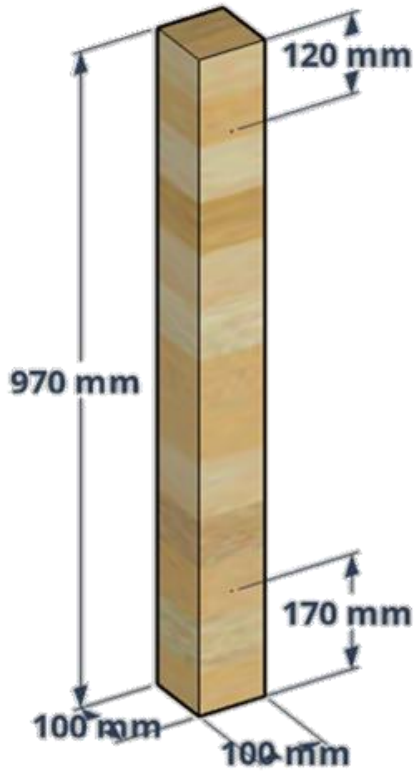
*Figur 3-12: Plassering av søyler og termoelementer i forsøksrommet*



*Figur 3-13: Prøvestykker plassert i forsøksrommet*

### 3.1.4 Plassering av termoelementer i forsøkstykker

Det plasseres to termoelementer i forborede hull i hvert av prøvestykkene. Det øverste hullet er plassert ca. 120 mm fra topp av forsøkstykket, og det nederste hullet er plassert ca. 170 mm opp fra bunn av forsøkstykket, se Figur 3-14 og Figur 3-15.



Figur 3-14: Skisse for plassering av temperaturelementer



Figur 3-15: Temperaturelementer festet til prøvestykker

Termoelementene ble navngitt med respektivt kanalnavn fra programvaren som benyttes av temperaturloggeren, plassering av de forskjellige temperaturelementene ble så merket opp på utsiden av rommet, se Figur 3-16 og Figur 3-17.



Figur 3-16: Venstre side av ISO-rom, sett fra dør åpningen; Viser plasseringen av termoelementene.



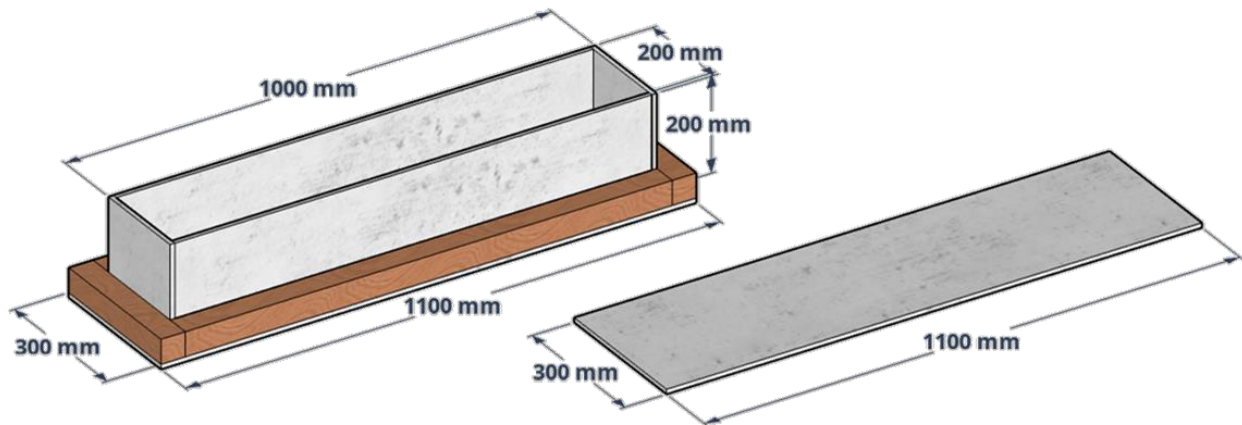
Figur 3-17: Høyre side av ISO-rom, sett fra dør åpningen; Viser plasseringen av termoelementene.

## 3.2 Bygging av bokser/kasser for etterulming

Det ble planlagt at noen av forsøksstykkene skulle legges i bokser/kasser etter brannforløpet, dette for å kunne logge et eventuelt massetap gjennom nedkjølingsperioden (eventuell ulme-periode).

Boksene ble bygd opp av en treramme som ble plassert på en gipsplate, på innsiden av trerammen ble det så plassert gips-plater. For å tette sammenføyningene i kassen ble det benyttet akryl. For å tette sprekkene. Det ble også skjært til lokk til boksene. Det ble lagt isolasjon i bunnen av boksene og et lag over forsøksstykkene når disse var lagt i boksen. Se Figur 3-18 for mål og Figur 3-19 til Figur 3-21 for endelig resultat.

Trevirket som ble benyttet hadde ett tverrsnitt på 50x50 mm og tykkelse på gipsplater var 10 mm.



Figur 3-18: Skisse for boks/kasse



Figur 3-19: Bokser



Figur 3-20: Boks med innvendig isolasjon over forsøksstykke

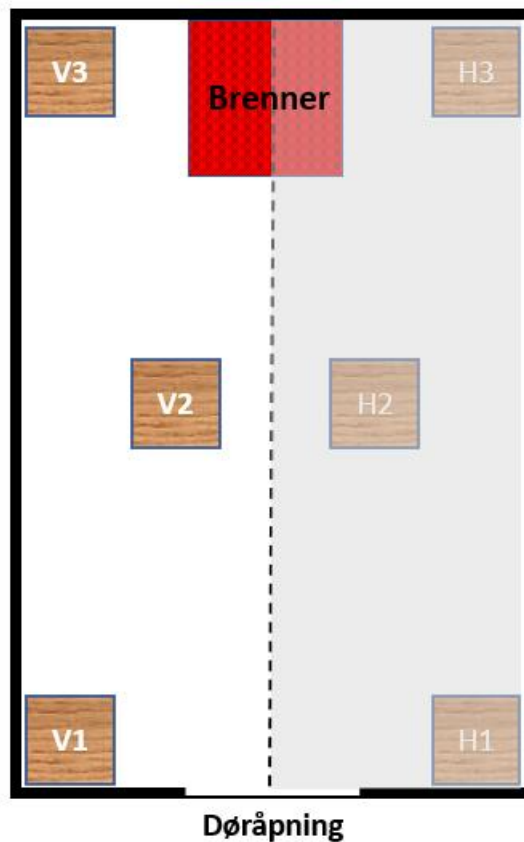


Figur 3-21: Boks med innvendig isolasjon under forsøksstykke

## 4 Resultat

Under forsøkene har søylene blitt utsatt for en flammebrann. Flammebrannen fødes av propan som fordele inn i rommet. Fordelingen gjøres ved hjelp av kattesand som er plassert i brenneren. Tilførselen av propan har pågått i 20 minutter. I løpet av disse 20 minuttene vil flammene som kommer fra brenneren bidra til stråling til søylene og til rommet. Søylene som er plassert i forsøksrommet har ikke vært påført noe last.

I dette kapittelet vil bare heltre søyler som var plassert på venstre side av forsøksrommet bli omtalt, se. Figur 4-1 for plassering av søyler. For resultater angående limtresøylene må rapporten til Marianne Dypå konsulteres.



Figur 4-1: Plassering av søyler. Venstre side av rommet viser søyler som omtales i dette kapittelet.

Under denne masteroppgaven er det utført 20 forsøk, se Tabell 4-1 for mer detaljer om forsøkene. De eksperimentelle forsøkene er utført under 4 turer til Haugesund, varigheten på turene har variert fra 2 til 4 dager. Noen av forsøkene er derfor utført med et «kaldt» forsøksrom (første forsøk for dagen eller turen), mens andre er utført med et oppvarmet forsøksrom (etter andre forsøk er utført). Dette kan ha innvirkning på resultatene. I forsøkene hvor det har blitt observert ulming er det gjort ved visuell inspeksjon etter forsøket er avsluttet. Tegn på ulming som er brukt til klassifiseringen er tilstedeværelse små gløder og et fint askestøv (som er mykt som bomull å ta på).

For flere av forsøkene ble det observert at flammer ble større når de stengte rommene ble åpnet og rommet fikk tilført mere oksygen. For å slukke flammene som kom når rommet fikk tilgang til mer luft.



Ble det påført vann. Mengden vann som er brukt for å slukke brannene/flammene på søylene er ikke målt.

Tabell 4-1: Oppsummering av utførte forsøk

Forsøk	Uke	Dato	Gj.rom lav [° C] <sup>1</sup>	Gj.rom høy [° C] <sup>2</sup>	Forsøk for dagen	Ulming	Døren tettet	Søyer i boks	Kort oppsummering:
#1	04	26.01	<sup>3</sup>	<sup>4</sup>	1	Ja	Ja	Ja	Ulming observert på søyle V3, mens den sto i rommet. Termoelement HTB høy feilet under forsøket. Søylene ble lagt i bokser, men boksene var uten isolasjon og ble ikke veiet. Mangler data fra logger for de første 10 minuttene av forsøk #1.
#2	04	26.01	7,70	14,00	2	Ja	Ja	Nei	Ulming observert på søyle V3, mens den sto i rommet. Termoelement HTB høy feilet under forsøket.
#3	04	27.01	5,70	11,06	1	Ja	Ja	Nei	Ulming observert på søyle V3, mens den sto i rommet.
#4	07	15.02	5,03	5,45	1	Nei	Ja	Nei	Takplaten sprakk. Alle forsøkstykkene brant opp.
#5	07	16.02	6,55	37,01	1	Nei	Ja	Nei	Reparasjoner av rommet utført før forsøk #5 startet. Flammer ble observert i mellomrommet dørtetningen og rommet. Det brant hull i bunnplaten. Alle forsøkstykkene brant opp
#6	07	16.02	12,92	23,03	2	Nei	Ja	Nei	Stålplatene var rødglødende. Alle forsøkstykkene brant opp. Åpningen til rommet ble tettet etter ca. 15 minutter.
#7	07	17.02	4,66	6,94	1	Nei	Ja	Nei	Åpningen ble tettet med gipsdør. Kattesand ble byttet før forsøket.

<sup>1</sup> Gj.rom lav - gjengir den gjennomsnittlige temperaturen fra målepunktene HTA, HTB, VTC og VTD lavt i rommet, se Figur 3-12 for plassering av målepunkt i forsøksrommet.

<sup>2</sup> Gj.rom høy - gjengir den gjennomsnittlige temperaturen fra målepunktene HTA, HTB, VTC og VTD høyt i rommet, se Figur 3-12 for plassering av målepunkt i forsøksrommet.

<sup>3</sup> og <sup>4</sup> Mangler data fra logger for de første 10 minuttene av forsøk #1.

Forsøk	Uke	Dato	Gj.rom lav [° C] <sup>1</sup>	Gj.rom høy [° C] <sup>2</sup>	Forsøk for dagen	Ulming	Døren tettet	Søyler i bokser	Kort oppsummering:
#8	07	17.02	9,45	23,02	2	Ja	Ja	Nei	Søylene sto i rommet over natten. forsøkssøyle V2 ulmet, mens den sto i rommet.
#9	07	18.02	5,43	7,64	1	Nei	Ja	Nei	Åpningen ble tettet med gipsdør og åpnet 5 timer senere. Rolig brann.
#10	10	09.03	6,11	7,50	1	Nei	Nei	Nei	Kattesanden ble rensset før forsøket. Forsøkestykkene ble stående i rommet til etter lunsj.
#11	10	09.03	14,45	29,92	2	Nei	Ja	Nei	Ny kattesand i brenner. Søyle V3 er eneste som ikke brant opp.
#12	10	09.03	15,20	40,28	3	Nei	Nei	Nei	Døren ble ikke lukket. Under dette forsøket gikk vi tom for gass.
#13	10	10.03	7,12	8,36	1	Nei	Nei	Ja	Ny kattesand i brenner. Døren ble ikke lukket. Søyler ble lagt i bokser. Søyler og bokser ble veiet tre ganger under nedkjølingsfasen.
#14	10	10.03	12,26	18,52	2	Nei	Nei	Ja	Rolig brann. Søyler ble lagt i bokser. Søyler og bokser ble veiet tre ganger under nedkjølingsfasen.
#15	10	11.03	6,99	8,86	1	Nei	Nei	Ja	Rolig brann. Døren ble ikke lukket. Søylene ble lagt i boksen da kjernetemperaturen var over 100 °C. Søyler og bokser ble veiet fire ganger under nedkjølingsfasen.
#16	13	29.03	12,08	69,54	1	Ja	Ja	Nei	Ulming: V2 - søylen glødet etter den var fjernet fra rommet. Dagen etter var deler av søylen vekke.
#17	13	30.03	2,49	8,76	1	Ja	Ja	Nei	Da gipsdøren ble fjernet, ble det observert flere glør i rommet. Søyle V3 blafret opp. Det ble helt vann etter tak er fjernet. Søyle V2 er helt bøyd. Søylene V3 har "horn". Deler av Søyle V1 og V3 er vekke.

Forsøk	Uke	Dato	Gj.rom lav [° C] <sup>1</sup>	Gj.rom høy [° C] <sup>2</sup>	Forsøk for dagen	Ullming	Døren tettet	Søyler i boks	Kort oppsummering:
#18	13	30.03	12,48	47,26	2	Nei	Ja	Nei	Ny kattesand i brenner (dyr type). Gulvet er dekket med et lag hvit/lysegrå aske. Søylene som ble tatt ut etter nedkjølingsfasen er de lettest/minste som er tatt ut av forsøksrommet.
#19	13	31.03	9,01	35,44	1	Nei	Nei	Nei	Alle forsøksstykkene brant opp. Takplatene var rødglødene
#20	13	31.03	11,46	37,64	2	Nei	Ja	Nei	Ny kattesand i brenner (dyr type). Alle forsøksstykkene brant opp.

## 4.1 Vekt og fuktighet

Før forsøkene ble i igangsatt ble vekt og fuktighet registret for alle søylene. Etter forsøkene var avsluttet ble de gjenværende delene av søylene veid. For å identifisere massetapet under forsøket og nedkjølingsperioden. Data fra alle forsøkene for søyle V1, V2 og V3 er vist i Tabell 4-2.

Søylene som er brukt i forsøkene har en fuktighet mellom 8,5 – 15,1%. I nyskåret kjerneved har en fuktighet på 35-40% (Skaug, 2008).

Tabell 4-2: Vekt og fuktighet for alle forsøkene

Forsøk	Søyle	Vekt før brann [g]	Fukt [%]	Vekt etter brann [g]	Masse tap under Forsøk [g]	Massetap i %	Vekt etter boks [g]
#1	V1		12,4				
	V2		12,2				
	V3		11,9				
#2	V1	3776,0	11,9	2819,4	956,6	25 %	
	V2	3780,2	11,4	1795,7	1984,5	52 %	
	V3	3657,1	14,1	1929	1728,1	47 %	
#3	V1	3797,7	10,9	2958,8	838,9	22 %	
	V2	4051,8	10,5	2227,9	1823,9	45 %	
	V3	3856,2	12,5	1876,4	1979,8	51 %	
#4	V1	3784,9	11,1				
	V2	4114,2	12,1				
	V3	4043,4	13,3				
#5	V1	3576,2	14,8				
	V2	3528,6	13,8				

Forsøk	Søyle	Vekt før brann [g]	Fukt [%]	Vekt etter brann [g]	Masse tap under Forsøk [g]	Massetap i %	Vekt etter boks [g]
	V3	3572,5	10,8				
#6	V1	3786,7	13,6				
	V2	4040,6	10,8				
	V3	4010,4	11,1				
#7	V1	3721,8	10,7	2862,5	859,3	23 %	
	V2	3868,2	10,9	2396,4	1471,8	38 %	
	V3	3669,3	10,1	2651,3	1018,0	28 %	
#8	V1	4226,2	9,6	2451,5	1774,7	42 %	
	V2	4151,6	14,0	657,9	3493,7	84 %	
	V3	3912,1	11,8	1943,2	1968,9	50 %	
#9	V1	4069,5	10,2	3540,4	529,1	13 %	
	V2	4241,3	13,6	3030,8	1210,5	29 %	
	V3	4218,9	10,4	3297,1	921,8	22 %	
#10	V1	3895,9	12,8	1133,7	2762,2	71 %	
	V2	3695,7	11	573,3	3122,4	84 %	
	V3	3731,8	12,5	1806,7	1925,1	52 %	
#11	V1	4103,3	15,1				
	V2	3868,1	11,9				
	V3	4018,5	11,7	738,9	3279,6	82 %	
#12	V1	3858,6	10,4	529,1	3329,5	86 %	
	V2	3856	11,3	735,7	3120,3	81 %	
	V3	3724	9	1359,7	2364,3	63 %	
#13	V1	3800	9	2044,2	1755,8	46 %	1993,2
	V2	3785,9	9,9	1097,4	2688,5	71 %	1161,5
	V3	3638,9	10,8	1970,2	1668,7	46 %	2005,4
#14	V1	4047,3	11,1	2898,7	1148,6	28 %	2863,8
	V2	3328,7	10	1788,4	1540,3	46 %	1762,5
	V3	3434,1	10,8	2508,6	925,5	27 %	2292,4
#15	V1	3838,5	9,8	1937	1901,5	50 %	1877
	V2	3970,9	14,1	1396,2	2574,7	65 %	1387,5
	V3	3679,9	14	2263	1416,9	39 %	2165,3
#16	V1	3686	13,2	941,5	2744,5	74 %	
	V2	3540,9	10,2	447,7	3093,2	87 %	255,9
	V3	3921,3	9,4	906,2	3015,1	77 %	
#17	V1	3672	10,8	1639	2033	55 %	
	V2	3735,8	11,4	1406,4	2329,4	62 %	

Forsøk	Søyle	Vekt før brann [g]	Fukt [%]	Vekt etter brann [g]	Masse tap under Forsøk [g]	Massetap i %	Vekt etter boks [g]
	V3	4048,6	10,7	1458,5	2590,1	64 %	
#18	V1	3750,6	10,9	275,7	3474,9	93 %	
	V2	4011,3	12,9	233,6	3777,7	94 %	
	V3	3830,9	10,5	396,3	3434,6	90 %	
#19	V1	3811,3	9,1				
	V2	3987,6	8,5				
	V3	3280,6	10,5				
#20	V1	4055,3	10,4				
	V2	4051,7	10,2				
	V3	3818,5	9,8				

I forbindelse med bearbeidingen av resultatene etter forsøkene, er forsøkene blitt sortert etter kategoriene: ulming i rommet, ulming utenfor rommet, lave temperaturer, høye temperaturer, åpen døråpning og alt brant opp. Hver av kategoriene blir nevnt i vært sitt underkapittel. Denne første sorteringer er utført ved hjelp av visuelle observasjoner.

## 4.2 Ulming i rommet

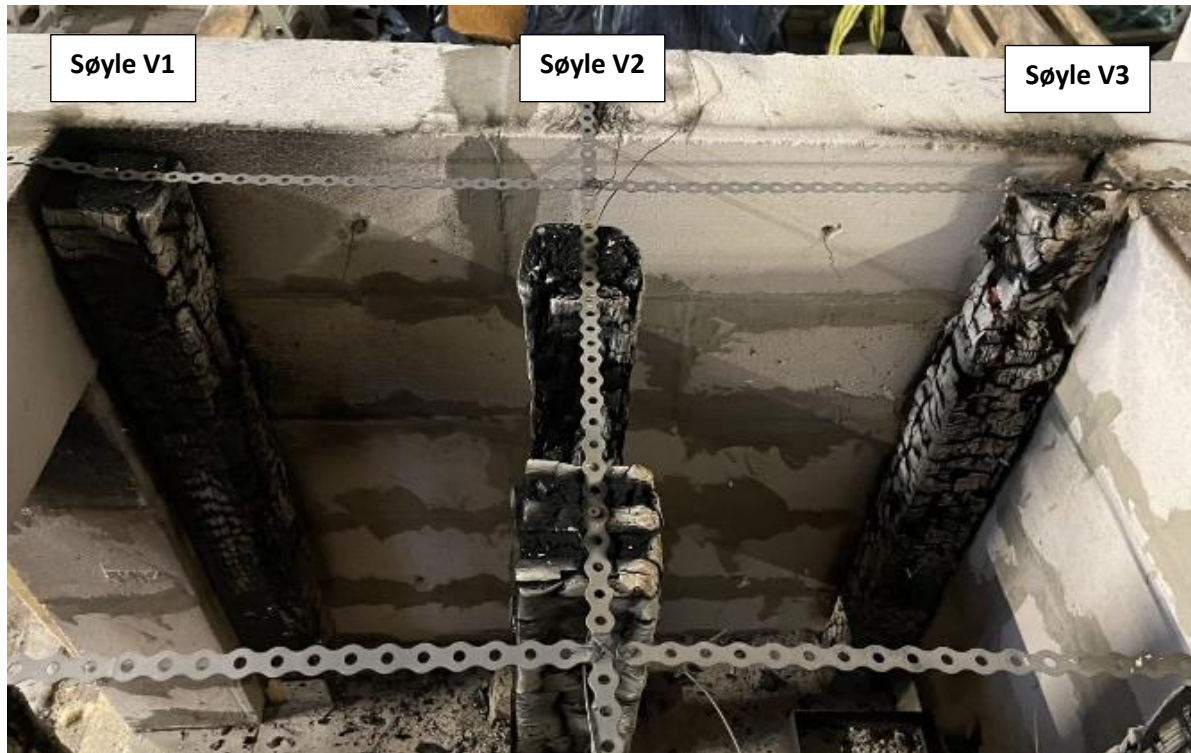
Det er under forsøkene observert synlig ulming i rommet (Forsøk #1, #2, #3, #8 og #17) og i søyler som var tatt ut av forsøksrommet (forsøk #16). I de fleste av forsøkene har forsøksrommet vært lukket. Det har derfor ikke vært mulig å observere hva som har foregått i rommet. Det kan derfor ha vært ulming i noen søyler som vi ikke har oppdaget.

### 4.2.1 Forsøk#1

For de første 10 minuttene av forsøk #1 mangler vi data p.g.a en feil med loggeren. Etter ca. 5 timer ble døren inntil rommet åpnet. Termoelement HTB-Høy feilet under dette forsøket og viser derfor samme temperaturer under hele forsøk #1.

Figur 4-2 viser hvordan det så ut da taket ble fjernet noen minutter etter døren ble åpnet. Øvre del av søyle V3 løsnet da skrue i topp ble skrudd opp. Glød ble observert i øvre del av søylen før og etter den var tatt ut av rommet. Det ble observert at termoelement V3 høy hadde en vedvarende temperaturøkning i to og en halv time, selv etter at temperaturene for resterende 19 elementer sank.

Før forsøk #2 ble det observert sprekk mellom to av betongblokkene helt nede ved gulvet i hjørnet ved søyle V3. Dette kan ha ført til at luft har kommet inn i rommet ved V3 søylen. Den nederste delen av søylene var ikke brent, se Figur 4-4, Figur 4-5 og Figur 4-6.



Figur 4-2: Venstre side av forsøksrommet, sett oven i fra. Etter tak var fjernet.

Søylene ble plassert i bokser etter de ble fjernet fra rommet. Termoelementene kunne ikke overføres til boksen da de for dette forsøket var tred igjennom veggen på rommet. Boksene var ikke foret med isolasjon. Søylene ble derfor ikke veiet med boksene. Forsøkstykkene ble heller ikke veiet før det første eksperimentet.

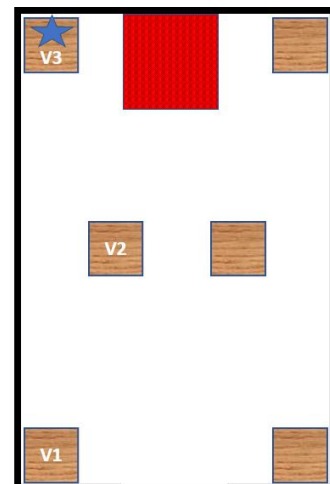
#### 4.2.2 Bilder av søyler forsøk #1

På bildene under (se Figur 4-4, Figur 4-5 og Figur 4-6) kan det observeres friskt treverk på den nederste delen av alle de tre søylene. Brannen har under dette forsøket ikke vært så kraftig at hele søylen har blitt forbrent.

Søyle V1 var plassert ved døren og er den søylen som viser tegn til minst formforandring grunnet forkullingen.

Søyle V2 har et parti nederst på søylen som ikke er påvirket av brannen. Men toppen av søylen har fått en mindre omkrets grunnet forkullingen.

Søyle V3 var plassert lengst inne i rommet ved siden av brenneren. Denne søylen mangler toppen. Den øverste delen av søylen som er i igjen, har et parti i midten som er mykt. Det er i denne øvre delen det har vært ulming. Plasseringen av den aktuelle søylen er vist med en stjerne i figuren.



Figur 4-3: Plassering av søyler under forsøk. Blå stjerne viser plassering av søyle som ulmet.



Figur 4-4: Søyler V1 - forsøk #1



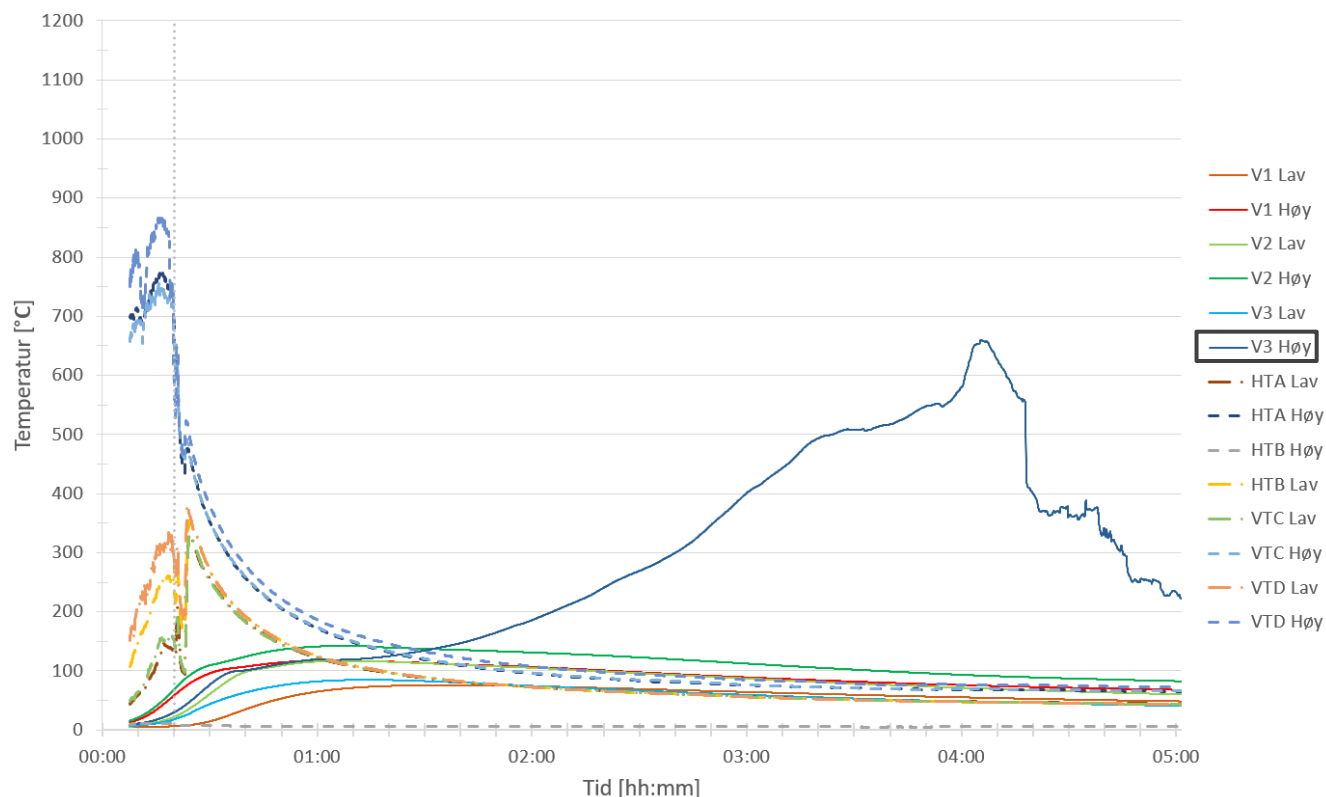
Figur 4-5: Søyler V2 - forsøk #1



Figur 4-6: Søyler V3 - forsøk #1

#### 4.2.3 Grafer forsøk #1

Grafen under viser alle termoelementene som ble brukt i forsøksrommet under forsøk #1. De første 10 minuttene med data mangler.



Figur 4-7: Graf fra forsøk #1, termoelementer i rom og søyler.

Termoelement HTA Høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy er alle plassert høyt i rommet. I grafen over kan det sees som stiplede linjer. Disse stiger gradvis før de en stund etter toppen har et drastisk fall. Fallet samsvarer med den vertikale grå prikkete linjen som viser når gassen ble stengt av etter 20 minutter. Når rommet lukkes, kommer det en liten økning i temperaturen. Den synker etter en kort stund.

Termoelement HTA lav, HTB lav, VTC lav og VTD lav er alle plassert lavt i rommet. Disse termoelementene kan gjenkjennes i grafen med strek- og prikklinjer. Disse har en lik stigning som de som er plassert høyt i rommet, men de har en mye lavere topp temperatur. Når gasstilførselen i rommet slukkes etter 20 minutter, (grå vertikal linje) har disse linjene også en nedgang. Når åpningen inn til rommet blir lukket, stiger temperaturen i den nedre delen av rommet igjen. Temperaturen nede i rommet når en topp ved ca. 350 °C, etter dette minsker temperaturen i rommet gradvis i løpet av de neste timene.

De heltrukne linjene viser termoelementene som er plassert lavt og høyt i søylene. Etter ca. 1 time 25 minutter får termoelement V3- høy en gradvis temperaturøkning. Temperaturen i søylen er høyere enn i rommet. Søylen har en maksimal temperatur på 660 °C etter ca. 4 timer. Denne søyle vil bli omtalt videre i kapittel 5.2.



#### 4.2.4 Forsøk #02

Ved starten av forsøk #2 var det 8 °C lavt i rommet og 14 °C høyt i rommet. Døråpningen ble tettet hurtigere enn under forsøk #1. Det er observert et hull mellom blokkene ved søyle V3. Huntonitt - isolasjonen som ble brukt til å tette døråpningen, avga en del røyk. Denne ble fjernet og erstattet med glava - isolasjon. I forbindelse med bytte av isolasjon ble det også flyttet på en gipsplate. Det kan i denne perioden ha kommet friskt oksygen inn i rommet. Rommet var lukket til dagen etterpå. Dagen etterpå ble rommet åpnet. Deler av toppen på søyle V3 var vekke. Det ble observert klare tegn på ulming. De andre søylene var "intakt".



Figur 4-8: Hull mellom blokker ved søyle V3



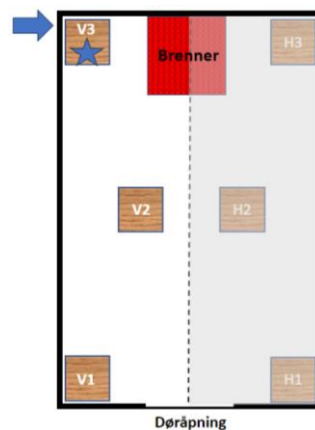
Figur 4-9: Rommet etter nedkjøling

#### 4.2.5 Bilder av søyler forsøk #2

Søyle V1 var plassert ved døren og er den søylen som er minst endret av forkullingen. På den nedre delen av søylen er det fortsatt mulig å se ubrent treverk.

Søyle V2 var plassert i midten av rommet. Dette er også den søylen som står nærmest massivtre-søylene. Søylen har fått en noe mindre omkrets grunnet forkullingen.

Søyle V3 var plassert lengst inne i rommet ved siden av brenneren. Denne søylen har tegn på ulming i toppen. Søylen er vist med stjerne i figuren ved siden av. Deler av toppen av søylen er borte.



Figur 4-10: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. Blå pil indikerer hvor hullet mellom blokkene var.



Figur 4-11: Søyler V1 - forsøk #2

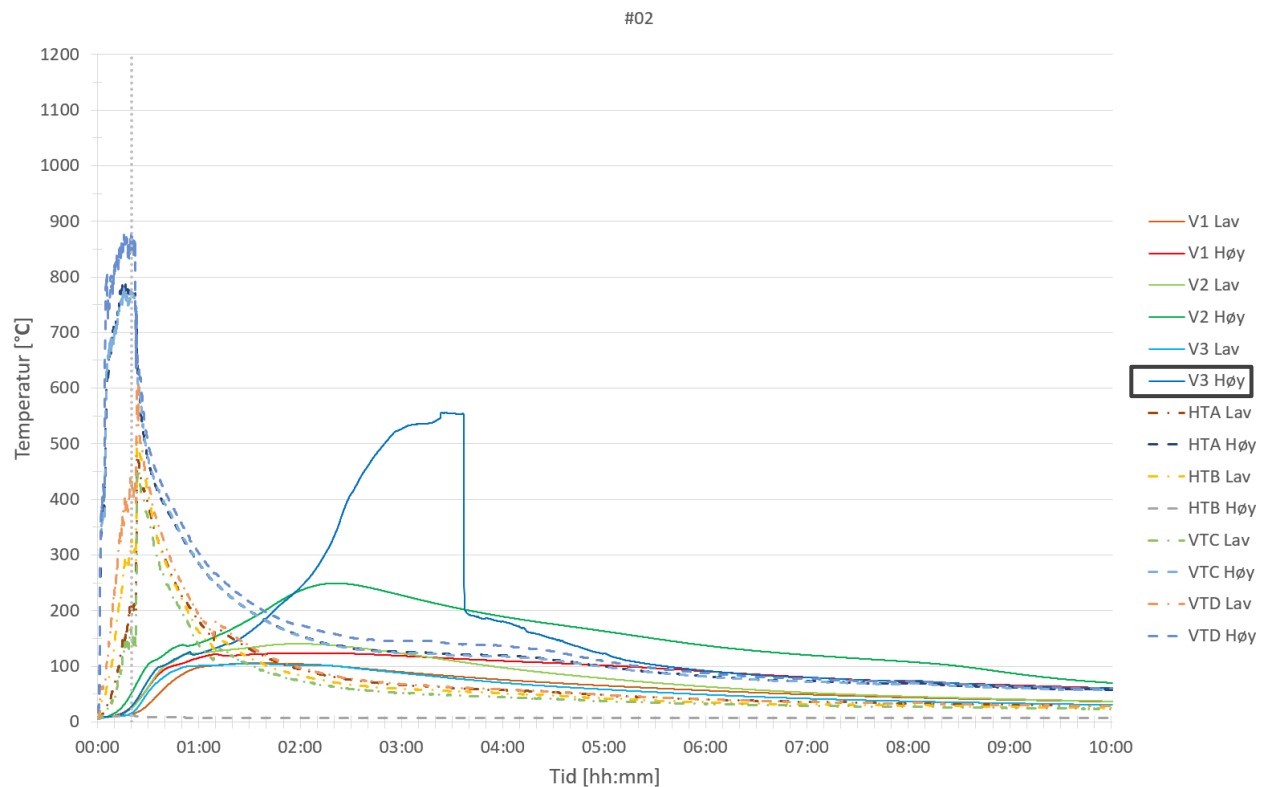


Figur 4-12: Søyler V2 - forsøk #2



Figur 4-13: Søyler V3 - forsøk #2

#### 4.2.6 Grafer forsøk #2



Figur 4-14: Graf fra forsøk #2, termoelementer i rom og søyler.

Termoelement HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy er alle plassert høyt i rommet. I grafen over kan de sees som stiplede linjer. Disse stiger gradvis før de en stund etter toppen har et drastisk fall. Fallet samsvarer med den vertikale grå prikkete linjen som viser når gassen ble stengt av etter 20 minutter.

Termoelement HTA lav, HTB lav, VTC lav og VTD lav er alle plassert lavt i rommet. Disse termoelementene kan gjenkjennes i grafen med strek- og prikk- linjer. Disse har en lik stigning som de som er plassert høyt i rommet, men de har en mye lavere maksimal temperatur. Når gasstilførselen i rommet slukkes etter 20 minutter (gråprikkete vertikal linje), har disse linjene en også en nedgang.

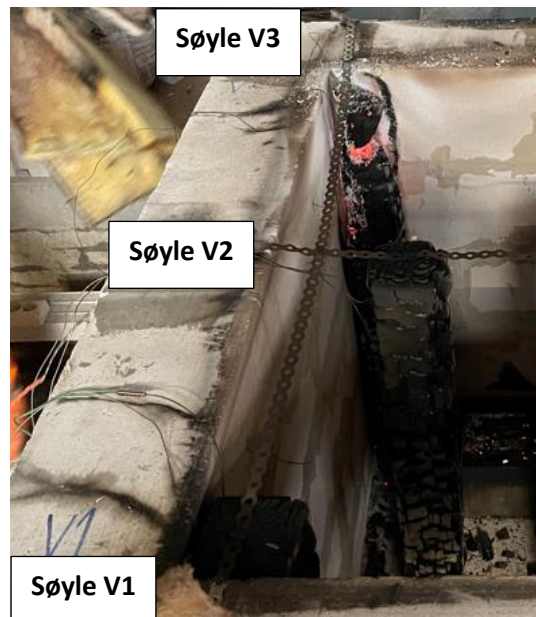
De heltrukke linjene viser termoelementene som er plassert lavt og høyt i søylene. Etter ca. 1 time og 40 minutter begynner to av termoelement V2 og V3- høy å få en gradvis temperaturøkning. Temperaturen i søylene er høyere enn i rommet. Disse søyle vil blir omtalt videre i kapittel 5.2.

#### 4.2.7 Forsøk #03

Ved starten av forsøk #3 var det 6 °C ° lavt i rommet og 11 °C ° høyt i rommet. Hull mellom blokker ved søyle V3 ble forsøkt tettet med glava-isolasjon. Rommet ble åpnet ca. 5 timer etter brannen startet. Det ble observert glør i den øvre del av søyle V3, se Figur 4-16. Når taket ble fjernet, fikk rommet mer oksygen. En må derfor anta at prosessene i søylene fikk større drivkraft. Ulmeprosess i toppen på V3 søylen. Søyle V1 og V2 var "hele" etter brannforsøket.



Figur 4-15: Bilde tatt rett etter fjerninga av "dør"



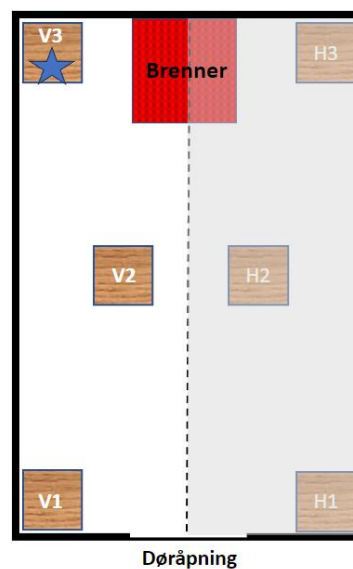
Figur 4-16: Bilde tatt etter tak er fjernet.

#### 4.2.8 Bilder av søyler forsøk #3

Søyle V1 var plassert ved døren og er den søylen som har minst endring grunnet forkullingen.

Søyle V2 var plassert i midten av rommet. Søylen har fått et noe redusert omkrets grunnet forkullingen.

Søyle V3 var plassert lengst inne i rommet ved siden av brenneren. Lengden av søylen er redusert grunnet brann og ulming i toppen av søylen. Søylen som ulmet, er vist med en stjerne i figuren ved siden av.



Figur 4-17: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk.



*Figur 4-18: Søyler V1-forsøk #3*



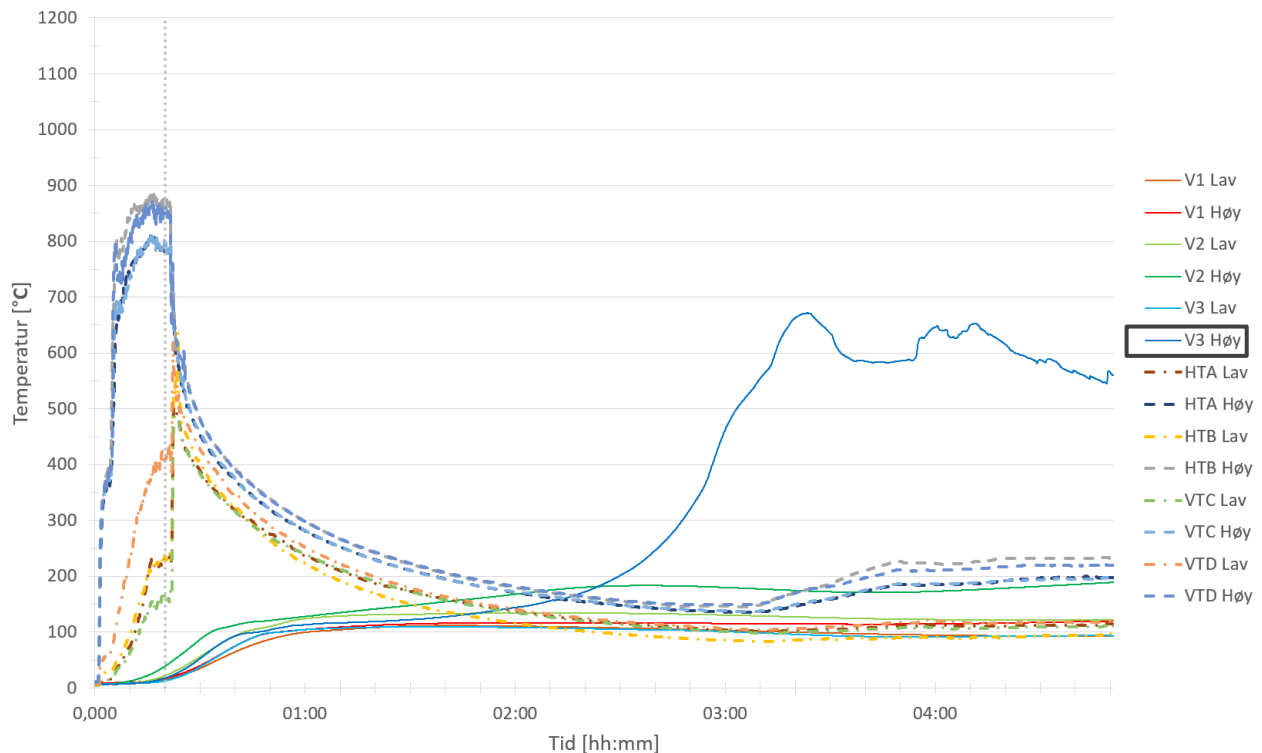
*Figur 4-19: Søyler V2-forsøk #3*



*Figur 4-20: Søyler V3-forsøk #3*

#### 4.2.9 Grafer forsøk #3

#03



Figur 4-21: Graf fra forsøk #3, termoelementer i rom og søyler.

Termoelement HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy er alle plassert høyt i rommet. I grafen over kan de sees som stiplede linjer. Disse stiger gradvis før de en stund etter toppen har et drastisk fall. På dette forsøket sammenfaller ikke fallet med den grå linjen, dette er nok på grunn av at datalogger ble startet litt før gassen ble antent. Etter ca. 3,5 time begynner høyt i rommet å stige igjen. Dette er nok en respons på aktiviteten i søyle V3.

Termoelement HTA lav, HTB lav, VTC lav og VTD lav er alle plassert lavt i rommet. Disse termoelementene kan gjenkjennes i grafen med strek- og prikk- linjer. Disse har en lik stigning som de som er plassert høyt i rommet, men de har en mye lavere maksimal temperatur. Når gasstilførselen i rommet slukkes etter 20 minutter (gråprikkete vertikal linje), har disse linjene en også en nedgang.

De heltrukke linjene viser termoelementene som er plassert lavt og høyt i søylene. Etter ca. 2 timer og 20 minutter begynner termoelement V3- høy å få en gradvis temperaturøkning. Temperaturen i søylen er høyere enn i rommet. Søylene har en maksimal temperatur på over 650 °C etter ca. 3 timer og 20 minutter. Denne søyle vil bli omtalt videre i kapittel 5.2.

#### 4.2.10 Forsøk #08

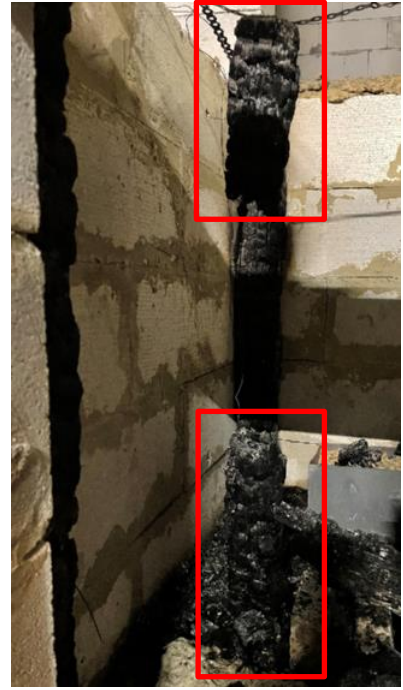
Ved starten av forsøk #8 var det 9 °C lavt i rommet og 23 °C høyt i rommet. Forsøk #8 ble startet etter opprydningen etter forsøk #7 var ferdig. Brannen ble avsluttet etter 20 minutter. Rommet ble tettet med en gipsdør. Rommet ble åpnet ca. 3:30 timer etter rommet ble lukket. Det var da full brann i rommet. Rommet ble kjølt ned med vann. Fra søyle V2 kom det noe røyk. Forsøkstykkene ble stående i rommet over natten. I løpet av natten har den midterste delen av søyle V2 ulmet vekk. Det var fortsatt synlige glør i forsøkstykkene da de ble fjernet fra rommet dagen etter.



*Figur 4-22: Søyle V2 før de ble brukt vann til å kjøle ned rommet og søylene.*



*Figur 4-23: Søyle V2 (vist med rødt rektangel) etter at brannen hadde blitt slukket med vann.*



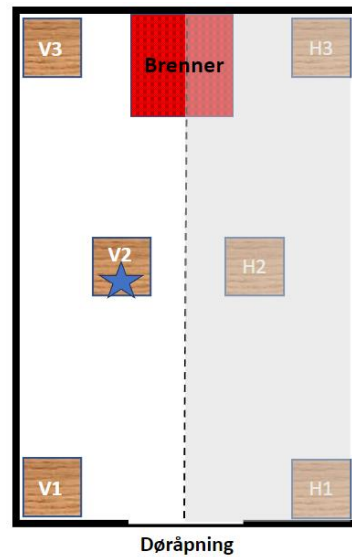
*Figur 4-24: Dagen etter var den midtre delen av søyle V2 smuldret vekk. Resterende deler av søyle V2, er markert med rødt rektangel.*

#### 4.2.11 Bilder av søyler forsøk #8

Søyle V1 var plassert ved åpningen inn til rommet.

Søyle V2 var plassert i midten av rommet. Deler av søylen smuldret vekk i løpet av natten. Søylen plassering er vist med en stjerne i figuren på siden av.

Søyle V3 var plassert lengst inne i rommet ved siden av brenneren. De har blitt observert at søyle H3 har delaminert, og delen som har løsnet har lent seg mot søyle V3, se Figur 4-22. Dette kan bidratt økt forkulling på den øvre delen av søylen se Figur 4-28.



Figur 4-25: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk.



Figur 4-26: Søyle V1 - forsøk #8



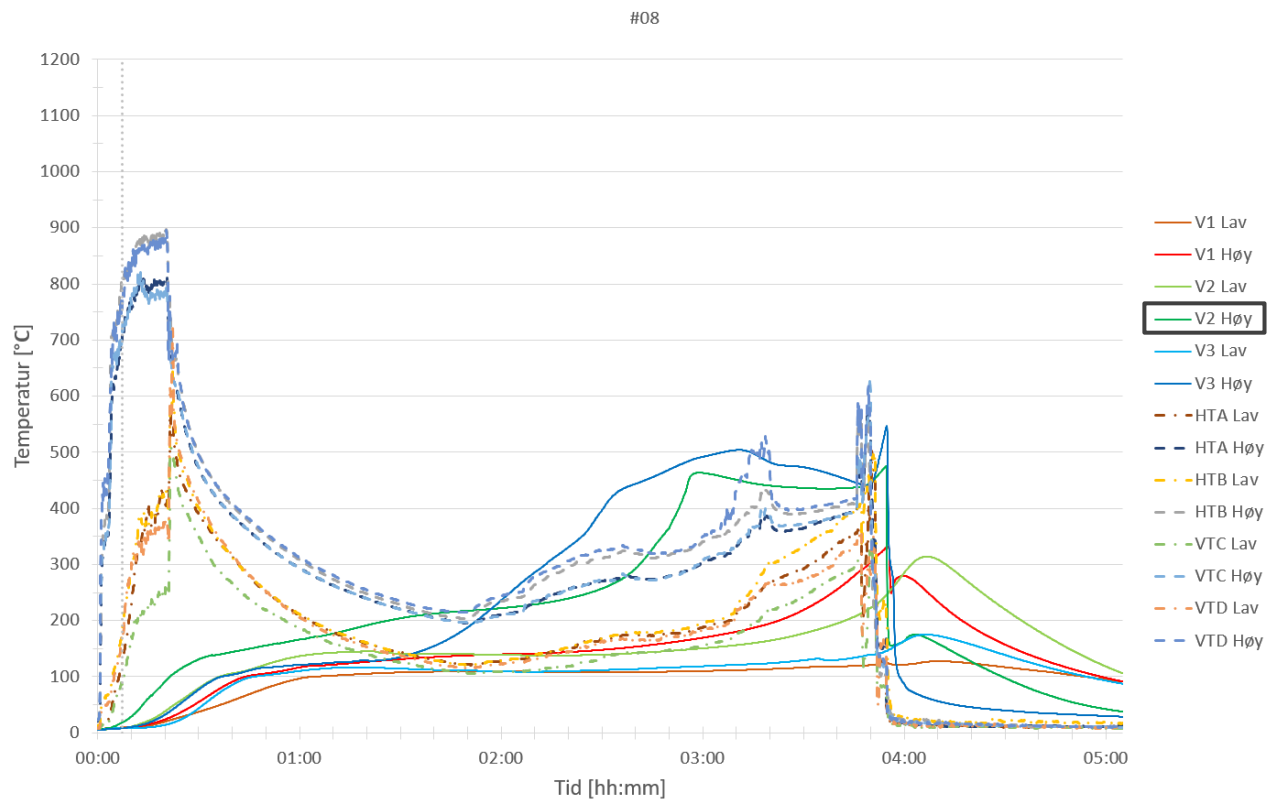
Figur 4-27: Søyle V2 - forsøk #8



Figur 4-28: Søyle V3- forsøk #8



#### 4.2.12 Grafer forsøk #8



Figur 4-29: Graf fra forsøk #8, termoelementer i rom og søyler.

Termoelement HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy er alle plassert høyt i rommet. I grafen over kan de sees som stiplede linjer. Disse stiger gradvis før de en stund etter toppen har et drastisk fall. Fallet samsvarer med den vertikale gråprikkete linjen, som viser når gassen ble stengt av etter 20 minutter. Etter 1 time og femti minutter stiger temperaturen i rommet samtidig som temperaturen i søylene øker. Forsøkt blir til slutt avsluttet. Dette kan man se som vertikale linjer i grafen. De vertikale linjene samsvarer med at vann ble brukt for å slukke / kjøle søylene.

Termoelement HTA lav, HTB lav, VTC lav og VTD lav er alle plassert lavt i rommet. Disse termoelementene kan gjenkjennes i grafen med strek- og prikk- linjer. Disse har samme stigning som de som er plassert høyt i rommet, men de har en mye lavere maksimal temperatur. Når gasstilførselen i rommet slukkes etter 20 minutter (gråprikkete vertikal linje), har disse linjene en også en nedgang. De lave termoelementene har en lignende økning som i det øvre laget, men denne økningen er noe forsinket.

De heltrukke linjene viser termoelementene som er plassert lavt og høyt i søylene. Etter en time og femti minutter stiger temperaturen i søylene. Forsøker blir til slutt avsluttet. Dette kan man se på grafen som vertikale linjer. De vertikale linjene samsvarer med at vann ble brukt for å slukke / kjøle søylene. Temperaturen i søylene holder seg høyere enn i rommet etter at forsøket ble avsluttet.

#### 4.2.13 Forsøk #17

Ved starten av forsøk #17 var det 2 °C lavt i rommet og 9 °C høyt i rommet. Forsøk #17 ble startet tidlig om morgenen. Brannen ble avsluttet etter 20 minutter. Åpningen til rommet er stengt med to gipsplater som er tilpasset slik at de passer i åpningen. Disse to gipsplatene er festet til en tredje som er plassert inntil det nedskalerte rommet slik at det blir tett. Det ble også plassert isolasjon i noen sprekker som oppsto mellom gipsplatene og blokkene rommet er bygget av. Rommet ble åpnet ca. 6 og en halv time senere. Flere av bjelkene viser tegn til at de var blitt bøyd. Under åpningen ble det observert glød i flere av søylene. Rommet inneholdt også en del aske og småbiter som ikke kan sikkert identifiseres. Det oppsto noen småflammer når rommet fikk friskt oksygen inn. Etter at taket ble fjernet, ble det påført vann for å slukke flammene. Søylene V3 har en hornlignende struktur på toppen av den nedre delen, se Figur 4-30.



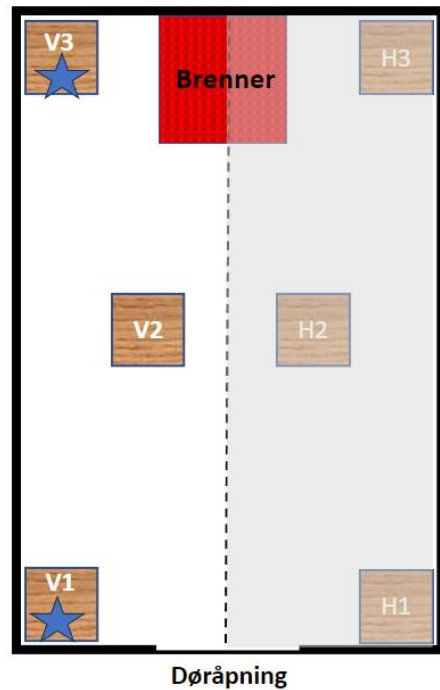
Figur 4-30: Venstre side av forsøksrommet, sett oven i fra. Bilde viser tilstand i forsøksrommet rett etter taket er fjernet. Etter bilde ble tatt ble de påført vann for å kjøle ned søylene.

#### 4.2.14 Bilder av bjelker forsøk #17

Søyle V1 var plassert ved åpningen inn til rommet. På den nederste delen av søylen kan vi observere upåvirket trevirke. Den øvre delen av søylen er ulmet vekk. Søylen som ulmet, er vist med en stjerne i figuren ved siden av.

Søyle V2 var plassert i midten av rommet. På denne søylen er det veldig lett bøyd som har oppstått under ned kjølingsfasen, se Figur 4-33.

Søyle V3 var plassert lengst inne i rommet ved siden av brenneren. Lengden av søylen er redusert grunnet brann og ulming i toppen av søylen. Søylen som ulmet, er vist med en stjerne i figuren ved siden av.



Figur 4-31: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk. Søylene med ulming er vist med blåstjerne.



Figur 4-32: Søyle V1- forsøk #17

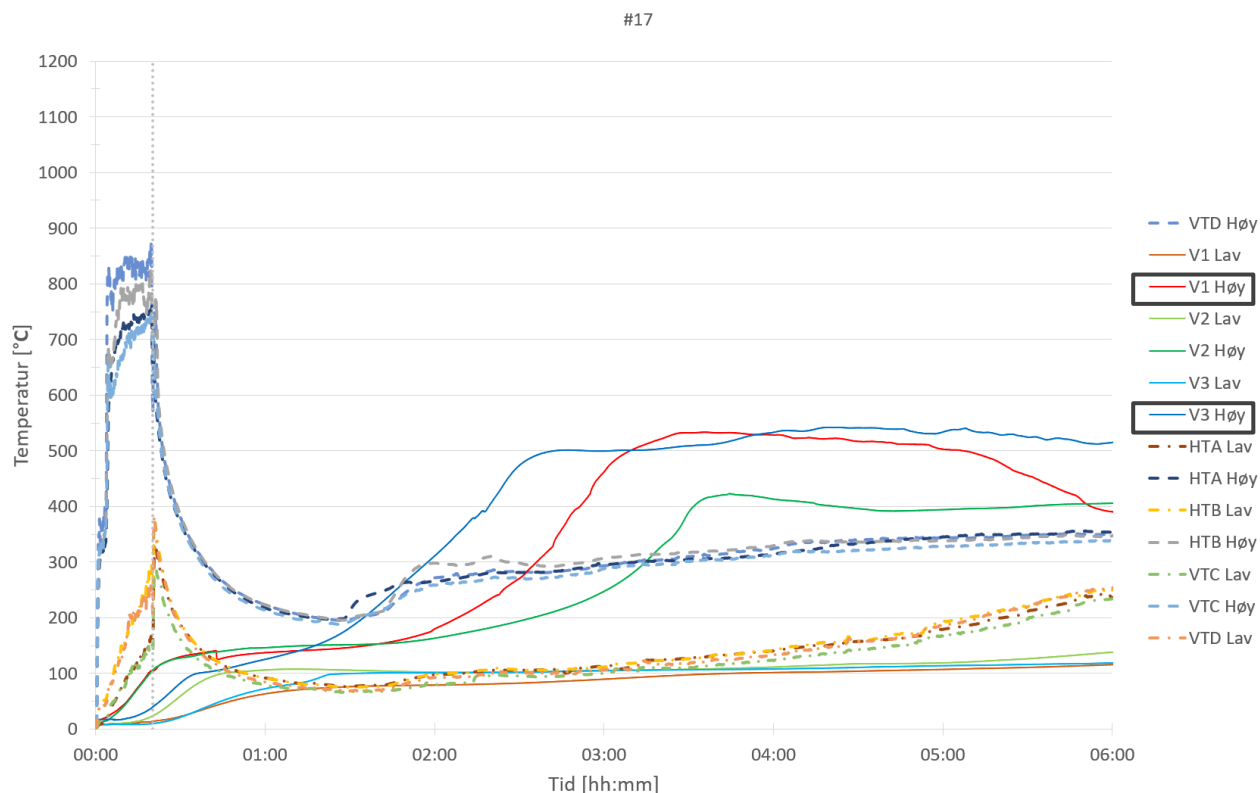


Figur 4-33: Søyle V2- forsøk #17



Figur 4-34: Søyle V3- forsøk #17

#### 4.2.15 Grafer forsøk #17



Figur 4-35: Graf fra forsøk #17, termoelementer i rom og søyler.

Termoelement HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy er alle plassert høyt i rommet. I grafen over kan de sees som stiplede linjer. Disse stiger gradvis før de en stund etter toppen har et drastisk fall. Etter ca. 1 time og 30 minutter begynner romtemperaturen gradvis å øke. Økningen forsetter gradvis i flere timer.

Termoelement HTA lav, HTB lav, VTC lav og VTD lav er alle plassert lavt i rommet. Disse termoelementene kan gjenkjennes i grafen med strek- og prikk -linjer. Disse har en lik stigning som de som er plassert høyt i rommet, men de har en mye lavere maksimal temperatur. Når gasstilførselen i rommet slukkes etter 20 minutter (gråprikkete vertikal linje), har disse linjene en også en nedgang. De lave termoelementene har en lignende økning som i det øvre laget, men denne økningen er noe forsinket.

De heltrukke linjene viser termoelementene som er plassert lavt og høyt i søylene. Nesten 2 timer ut i forsøket begynner termoelement V3 høy å få en gradvis temperaturøkning. Temperaturen i søylen er høyere enn i rommet. Temperaturen i søylen holder seg høy (500-550 °C) i flere timer. Søyle V1 høy har en lignende temperaturøkning som er observert i søyle V3- høy, men i søyle V1 høy begynner temperaturen å synke etter ca. 5 timer. De er også en økning i søyle V2 høy som går over rom temperaturen. Denne økningen inntreffer senere enn for de andre søylene og gir også en lavere makstemperatur på rundt 400 °C.

## 4.3 Ulming utenfor rommet

Etter søylen var fjernet fra brannrommet, ble den lagt på toppen av en av gipsboksene. Etter noe tid ble det observert små glør i søylen. Område hvor glød ble observert var ulmet bort dagen etter. Ulmingen ble observert i søyle V2.

### 4.3.1 Forsøk #16

Ved starten av forsøk #16 var det 12 °C lavt i rommet og 70 °C høyt i rommet. Brannen ble avsluttet etter 20 minutter. Kattesanden ble skiftet ut. Siden forrige forsøk er det heist opp en takkonstruksjon som kan redusere effekten til viften noe. Døråpningen inn til ISO rommet ble lukket med en gipsplate. Et lag til med gips ble plassert over døren. Omtrent en time ut i nedkjølingsfasen ble det oppdaget et mellomrom mellom gipsplaten og muren. Det ser ut som den indre gipsplaten har løsnet fra den ytre. Den ytre gipsplaten har glid litt fra veggene til rommet og laget en åpning som har gitt ekstra oksygen til rommet. Rommet ble åpnet. Rommet sto i full fyr, så de ble påført vann. Taket ble fjernet.



Figur 4-36: Mellomrom mellom rom og gipsplate.



Figur 4-37: Etter rommet ble åpnet.

Flere av søylene besto bare av mindre biter, men noen hadde sin opprinnelige plassering, se Figur 4-38.

Søyle V2 glødet når den ble fjernet fra rommet. Denne ble plassert på utsiden av rommet. Dagen etterpå var det tydelige tegn på ulming, se Figur 4-39 og Figur 4-40.



Figur 4-38: Etter taket er fjernet (ca. 3 timer etter forsøket startet).



Figur 4-39: Søyle V2 etter den var fjernet fra rommet (ca. 35 minutter etter taket var fjernet).



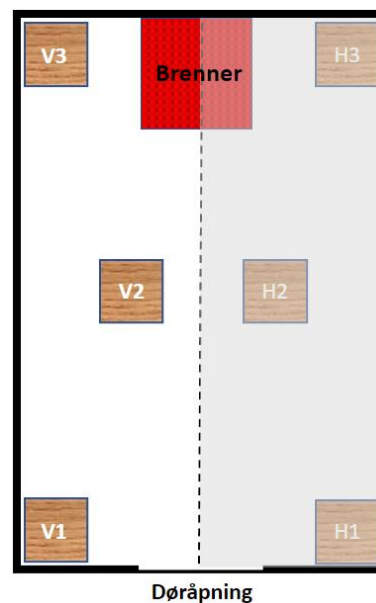
Figur 4-40: Søyle V2 ca. 15 timer etter stykke var fjernet fra rommet.

#### 4.3.2 Bilder av søyler forsøk #16

Søyler V1 var plassert ved åpningen inn til rommet.

Søyler V2 var plassert i midten av rommet. Denne søylen ulmet etter den var fjernet fra rommet.

Søyler V3 var plassert lengst inne i rommet ved siden av brenneren.



Figur 4-41: Plassering av søylene V1, V2 og V3 under forsøk.



Figur 4-42: Søyler V1- forsøk #16

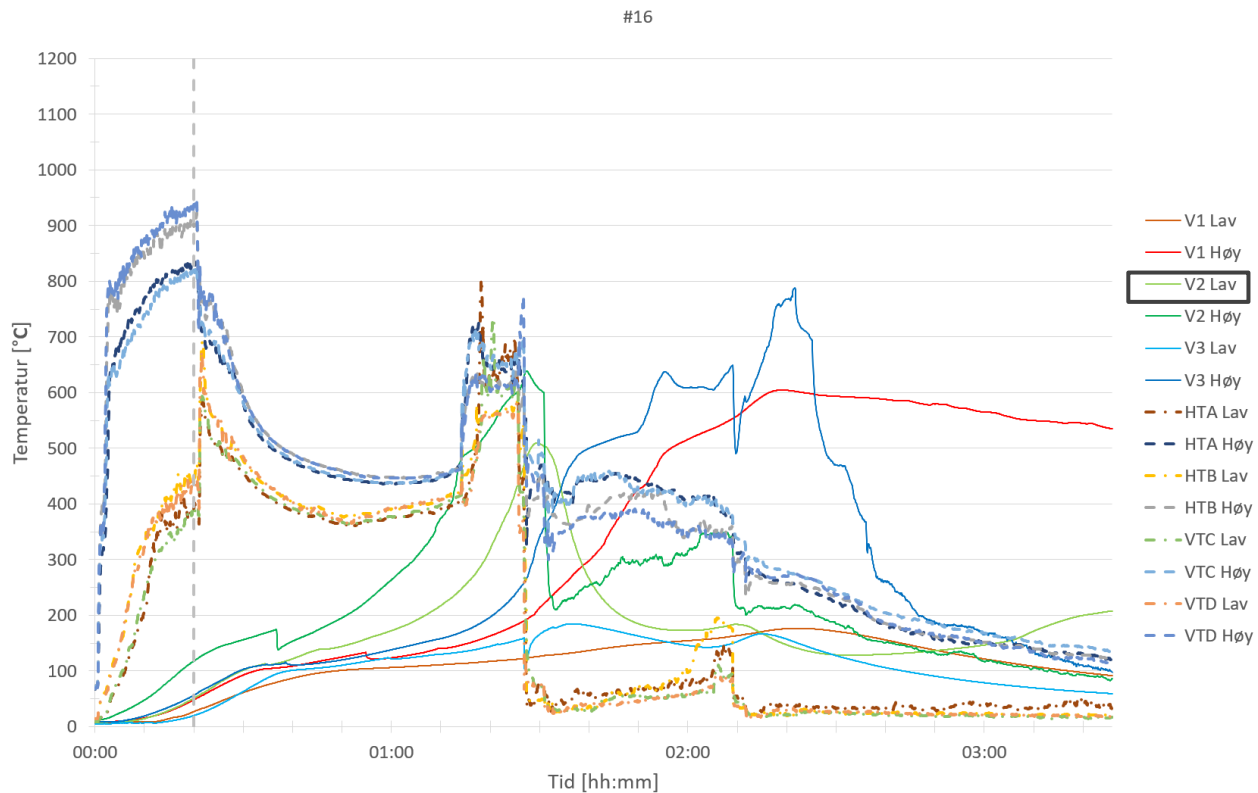


Figur 4-43: Søyler V2- forsøk #16



Figur 4-44: Søyler V3- forsøk #16

### 4.3.3 Grafer forsøk #16



Figur 4-45: Graf fra forsøk #16, termoelementer i rom og søyler.

Termoelement HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy er alle plassert høyt i rommet. I grafen over kan de sees som stiplede linjer. Disse stiger gradvis før de en stund etter toppen har et drastisk fall. Fallet samsvarer noenlunde med den vertikale grå prikkete linjen som viser når gassen ble stengt av etter 20 minutter. Temperaturen i rommet øker igjen når de oppstår en glippe mellom muren og gipsplaten (plassert foran døråpningen). Rommet får tilføyd ekstra oksygen. En stund etterpå blir rommet åpnet, og dette kan man se som et fall i temperaturen. Temperaturen holder seg høyt, men har en gradvis nedgang i løpet av den neste timen.

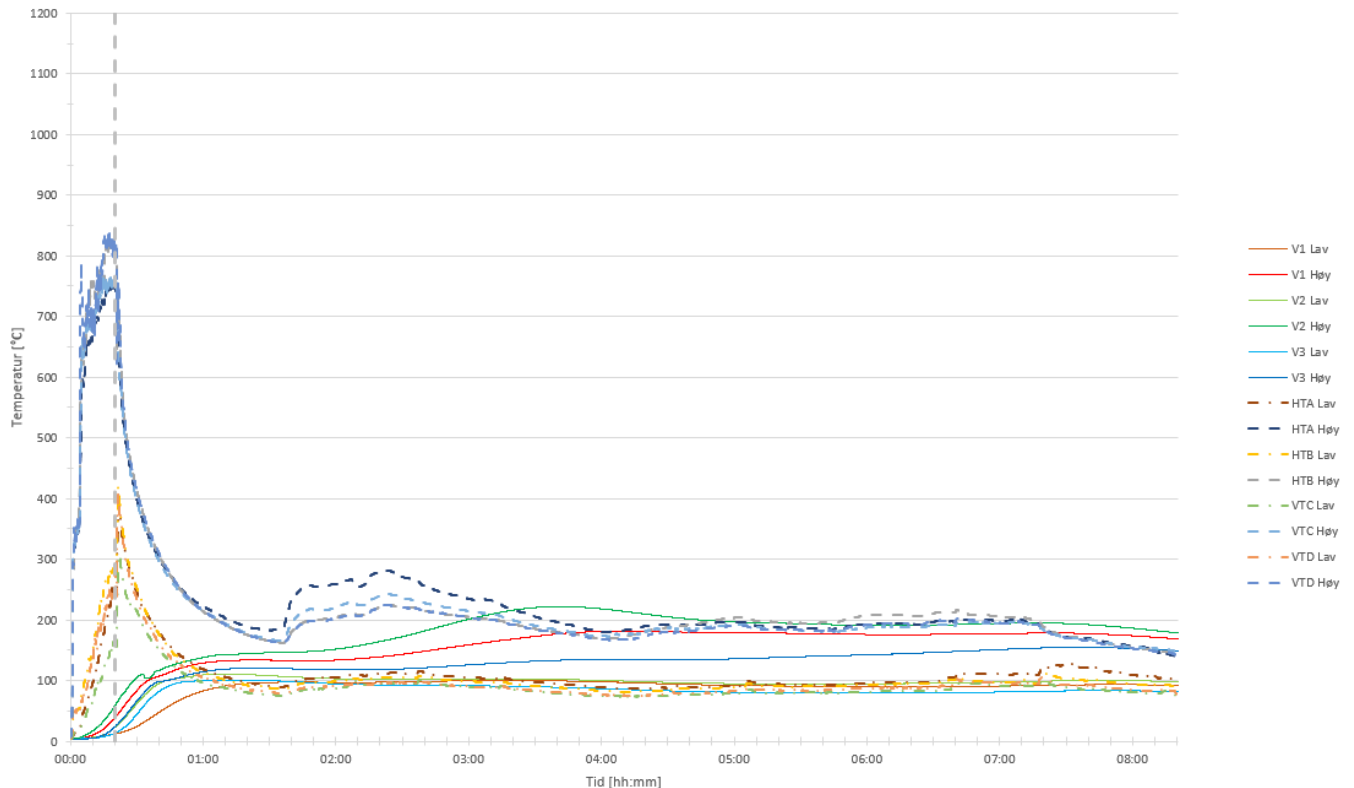
Termoelement HTA lav, HTB lav, VTC lav og VTD lav er alle plassert lavt i rommet. Disse termoelementene kan gjenkjennes i grafen med strek- og prikk- linjer. Disse har en lik stigning som de som er plassert høyt i rommet, men de har en mye lavere maksimal temperatur. Disse termoelementene speiler aktiviteten i det øvre laget, men ved noe lavere temperaturer.

De heltrukke linjene viser termoelementene som er plassert lavt og høyt i søylene. Alle termoelementene i søylene har en mer drastisk økning i dette forsøket enn det som har vært vanlig.



## 4.4 Forsøk #7, #9 og #14 – Lave temperaturer

Forsøk #7, #9 og #14 begynte som de andre forsøkene med at brannen ble avsluttet etter 20 minutter. Åpningen inn til rommet ble tettet. En time inn i nedkjølingsperioden ble det for disse forsøkene registrert temperaturer under 300 °C i forsøksrommet, se Figur 4-46. En tid ut i nedkjølingsperioden steg temperaturen i søylene over temperaturene i rommet. Etter dette punktet sank temperaturene gradvis til forsøket ble avsluttet. Etter at forsøk #14 var over, ble søylene V1, V2 og V3 plassert i boksene.



Figur 4-46:Graf fra forsøk #7. En time ut i nedkjølingen er det under 300 °C i forsøksrommet. Dette gjelder også for forsøk #9 og #14.

## 4.5 Forsøk #10, #11 og #12 - Høye temperaturer

Forsøk #10, #11 og #12 begynte som de andre forsøkene med at brannen ble avsluttet etter 20 minutter. Åpningen inn til rommet ble ikke tettet for forsøk #10 og #12. I disse eksperimentene ble det logget høye temperaturer over, 1000 °C, under de første 20 minuttene av forsøkene. Under nedkjølingstiden utviklet forsøkene #10 og #11 til en full brann i rommet. Forsøkene ble avsluttet. Alle brannene ble tilført vann for å minske nedkjølingstiden etter at forsøket var avsluttet. Alle søylene hadde et massetap på 52 % eller mer, se Tabell 4-2. Under forsøk #12 gikk vi tom for gass.

## 4.6 Forsøk #13 og #15 - Åpen døråpning

Forsøk #13 og #15 begynte som de andre forsøkene med at brannen ble avsluttet etter 20 minutter. Åpningen inn til rommet ble ikke tettet. For disse forsøkene sank temperaturen i forsøksrommet saktere. Romtemperaturen kom aldri ned til det samme lave nivå som i forsøk #7, #9 og #14. Flere av søylene i

forsøksrommet sto i full fyr en stund ut i nedkjølingen. Forsøkene ble avsluttet og søylene ble tilført vann. Etter at forsøket var over, ble søylene plassert i boksene.

## 4.7 Alt brant opp!

Forsøk #4, #5, #6, #18, #19 og #20 begynte som de andre forsøkene med at brannen ble avsluttet etter 20 minutter og åpningen inn til forsøksrommet tettet. Døråpningen ble ikke tettet under forsøk #19. Et felles trekk for disse brannene er at temperaturen i rommet og i søylene en tid ut i nedkjølingen var tilnærmet like. Disse søylene hadde også et massetap på over 90 %, se Tabell 4-2. Under disse forsøkene har de vært høye temperaturer i rommet. Dette kan blant annet sees på Figur 4-47 og Figur 4-48 hvor stålplatene i taket er rødglødende. Når døråpningen inn til rommet ble åpnet, var alt det brennbare i rommet i full fyr. Dette kan sees i Figur 4-49. For å slukke brannen ble det påført vann. Etter at brannen var slukket, lå det rester av aske og små søylebiter i rommet. Dette kan sees i Figur 4-50.



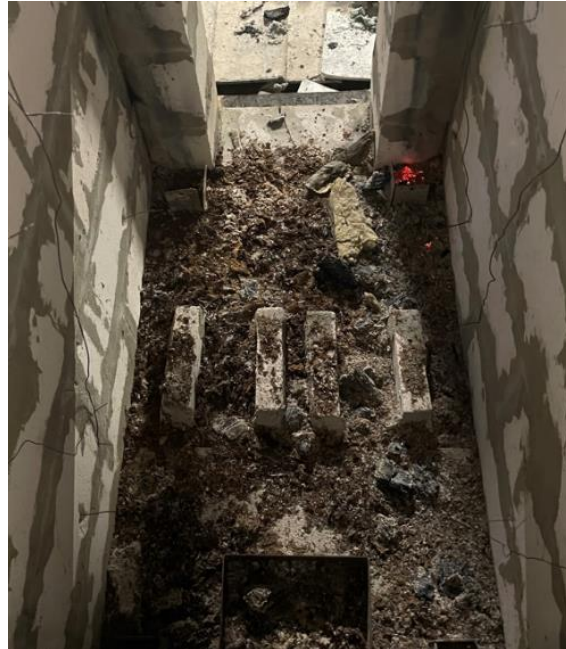
Figur 4-47: Rødglødende stålplate. Bildet er tatt ved å løfte opp takplatene (forsøk #6).



Figur 4-48: Bilde er tatt rett etter vann er hevet inn i rommet. Takplatene er rødglødende (forsøk #19).



*Figur 4-49: Tilstand i rommet da døren ble åpnet (etter nedkjølingsperioden) forsøk #6.*



*Figur 4-50: Forsøksrommet etter at forsøk #4 var ferdig.*

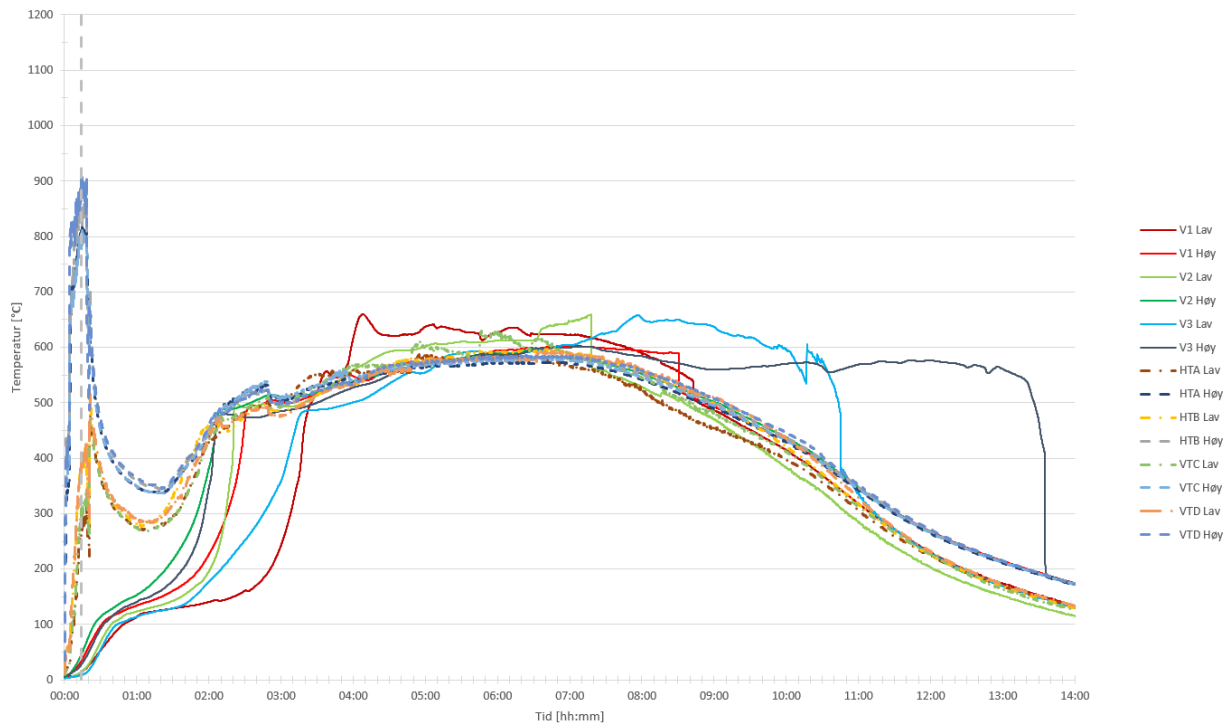


*Figur 4-51: Forsøk #5, hull mellom tetning materiell og forsøksrommet.*



*Figur 4-52: Forsøk #5, Det oppstå et hull på undersiden av forsøksrommet, som førte frisk luft inn i rommet.*

For forsøkene hvor alt brant opp var alle de målte temperaturene i rommet i en periode tilnærmet lik, se Figur 4-53. Under noen av disse forsøkene har det kommet ekstra oksygen i rommet.



Figur 4-53: Temperatur som funksjon av tid for forsøk #20. En periode under nedkjølingsfasen var temperaturen i rommet og temperaturen i søylene tilnærmet like.

## 5 Diskusjon

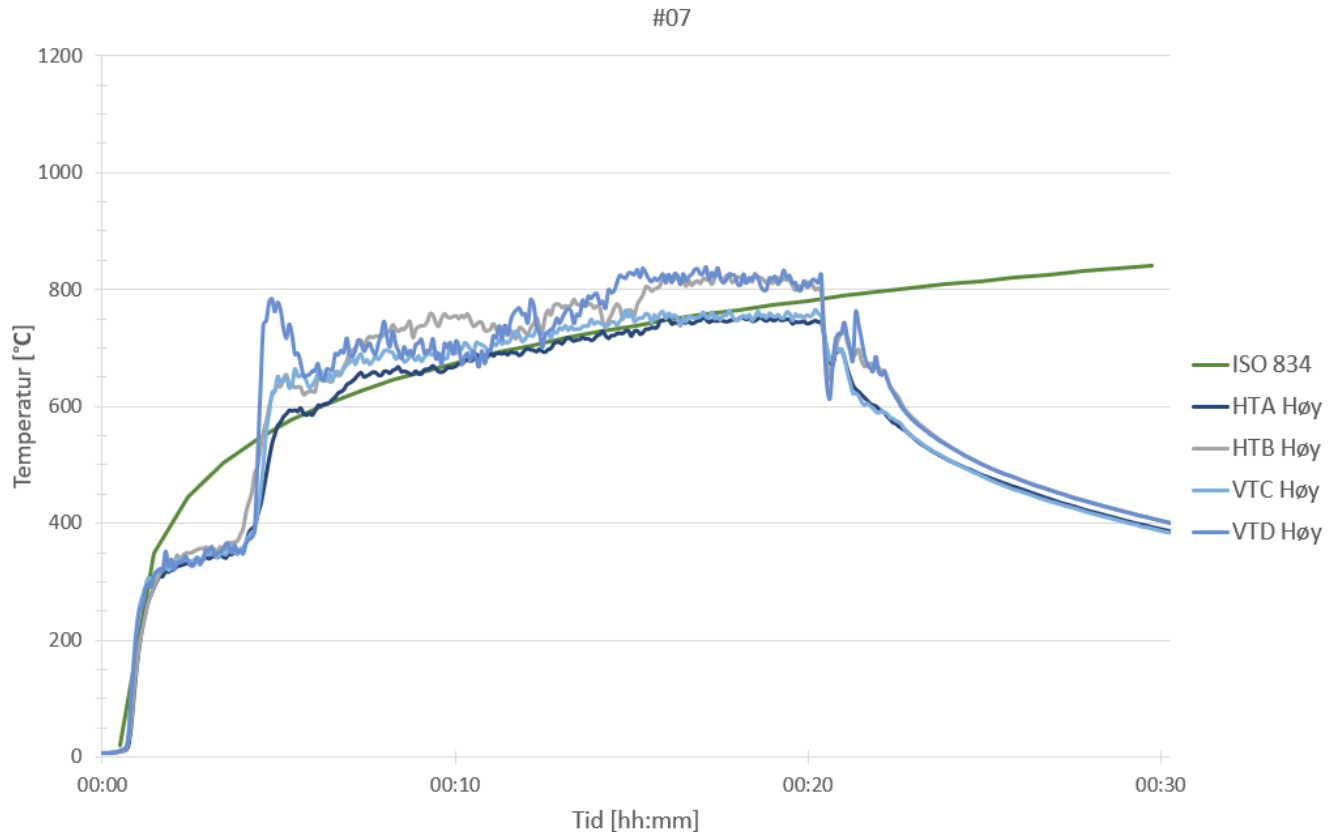
Som en del av denne masteroppgaven er det utført 20 forsøk m/ heltre - søyler. Eksperimentene er små - skala forsøk utført i et rom som tilsvarer 1/3 – ISO rom. Som drivstoff til brannene er det brukt propan ( $C_3H_8$ ). Det første som må undersøkes i dette kapitlet er om brannene er utført i henhold til ISO834 (cellulose brann) eller om de er mere lik hydrokarbon branner (HC-brann). HC- branner er mere vanlig i industrien og er ikke den type branner vi ønsker i disse forsøkene.

Når brannene i forsøkene er identifisert å være i henhold til ISO834, må det undersøkes om temperaturene i forsøkene har vært høye nok til å igangsette en ulmeprosess eller om har vært for høye og har igangsatt en flammebrann i stedet for. 250 °C er ansett for å være den laveste temperaturen hvor ulming kan inntreffe, men for å opprettholde prosessen så må temperaturen være over. Typiske temperaturer for en ulmebrann er mellom 450 -700 °C.

Utgangspunktet for alle forsøkene er likt, men resultatene er svært forskjellige. Et viktig spørsmål er hvilke faktorer som kan ha en innvirkning på forsøkene.

### 5.1 Temperatur-eksponering

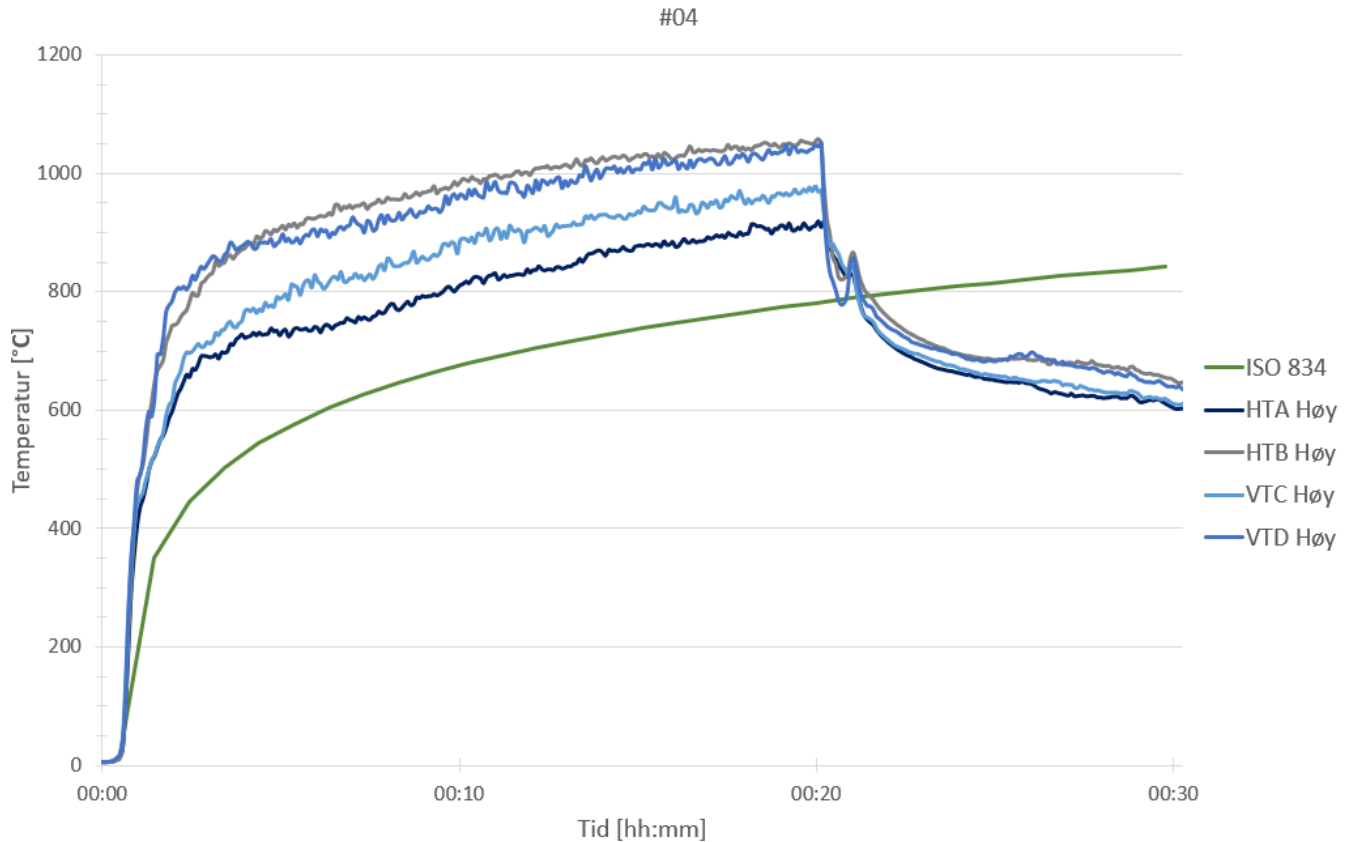
Under eksperimentene har brannene oppførts seg forskjellig. For å sikre at brannene de første 20 minuttene er en i henhold til ISO834, har temperaturene i rommet (HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy) blitt sammenlignet med ISO kurven. Under ser vi i Figur 5-1 at temperaturen som er målt høyt i rommet ved termoelement HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy sammenfaller fint med grafene fra ISO834.



Figur 5-1: Temperaturutviklingen for HTA, HTB, VTC og VTD høy under forsøk #7. Disse termoelementene er plassert høyt i forsøksrommet. Den grønne linjen er ISO834 kurven.

Denne sammenligningen er gjort for alle de 20 forsøkene. For forsøk #1, #2, #3, #7, #8, #9, #13, #14, #15, #16 og #17 ser vi at grafene sammenfaller på en lignende måte som for forsøk #7 vist på Figur 5-1. Når grafene blir presentert på samme måte som vist på Figur 5-1 ser man at alle grafene har en bratt stigning opp til ca. 300 °C. Her ser de ut til at de flater litt ut før de igjen har en brattstigning som ser ut til å slutte ved ca. 600 °C. Når forsøket startes, begynner en forvarming av trevirke og vann og organiske forbindelser fordampes. Pyrolyseprosessen starter omtrent ved 250 °C. Det er mulig at grafen viser denne overgangen.

For forsøk #4, #5, #6, #10, #11, #12, #18, #19 og #20 ligger temperaturene i rommet (HTA høy, HTB høy, VTC høy og VTD høy) langt over den grønne linjen i Figur 5-2, som illustrerer ISO834.



Figur 5-2: Temperaturutviklingen i HTA, HTB, VTC og VTD høy under Forsøk #4. Disse termoelementene er plassert høyt i forsøksrommet. Den grønne linjen er ISO834 kurven.

Grafene for disse brannene er likere hva man kan forvente ved en HC-brann. I Tabell 4-2 er vekten til søylene før og etter brannen ført opp. For mange av disse forsøkene var de lite igjen av søylene da forsøkene og nedkjølingstiden var over. Forsøk #4, #5, #6, #18, #19 og #20 ble i kapittel 4.7 sortert under forsøk hvor alt brant opp. Forsøk #10, #11 og #12 ble i kapittel 4.5 sortert i kategorien høye temperaturer basert på visuelle observasjoner. Når Tabell 4-2 undersøkes for disse tre eksperimentene, kan det observeres at alle har hatt et stort massetap under forsøk og nedkjølingsperioden. Disse forsøkene vil ikke bli brukt videre i dette kapittel da de ikke oppfyller kriteriet med å følge ISO 834.

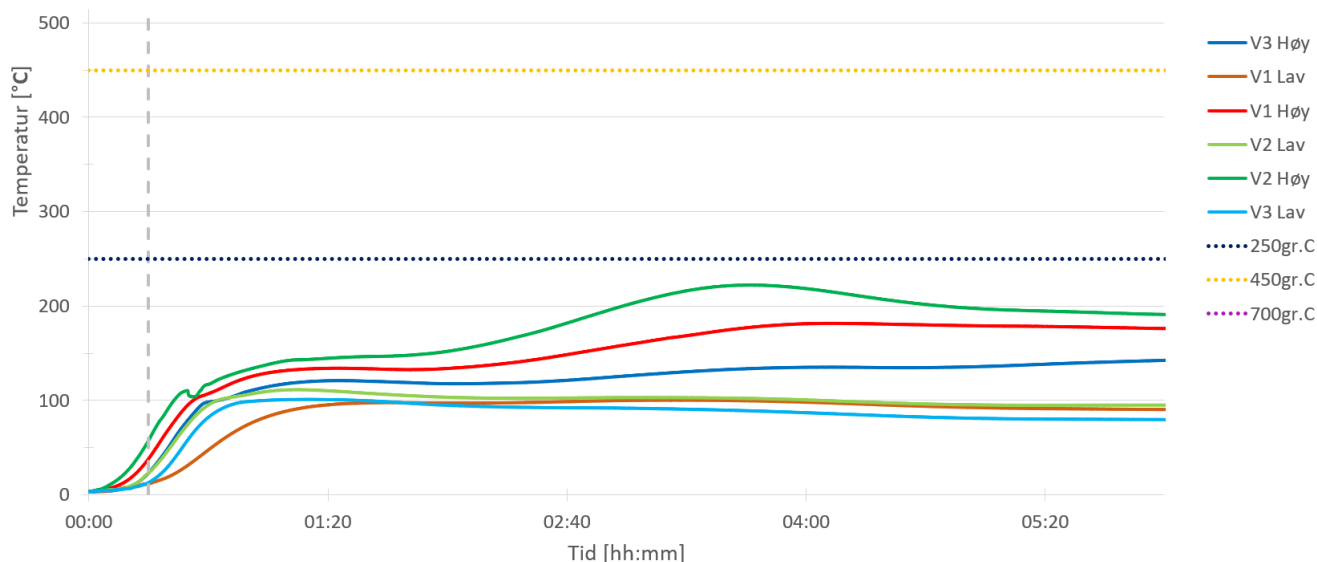
## 5.2 Ulming

I dette kapitlet skal vi undersøke om temperaturene fra teori kapittelet stemmer med observasjoner som er gjort angående ulming. 250 °C er ansett for å være den laveste temperaturen hvor ulming kan inntreffe, men for å opprettholde prosessen må temperaturen være høyere. Typiske temperaturer for en ulmebrann er 450 -700 °C.

I alle søylene er det plassert 2 termoelementene en i den øvre delen av søylen og en i den nedre delen av søylen. Termoelementene er plassert ca. 450 mm inn i heltre - søylen, se Figur 3-15. Det er data fra disse termoelementene som nå vil bli gjennomgått. Temperaturøkningen som er registrert under forsøk #1, #2, #3, #7, #8, #9, #13, #14, #15, #16 og #17 er blitt gjennomgått. Forsøkene har forskjellige nedkjølingsperioder. For å forenkle sammenligningen, er alle grafene under modifisert slik at de viser samme tidsintervall. Termoelementene som viser romtemperaturen høyt og lavt er fjernet fra grafene under.

### 5.2.1 Under 250 °C

Under forsøk # 7, # 9 og #15 har alle termoelementene i søylene en temperatur stigning, men denne stigningen er alltid under 250 °C. Forsøk #7 har høyest temperaturstigning, se. Figur 5-3. Den mørkeblå prikkete linjen viser hvor temperaturen er 250 °C. Ettersom disse forsøkene ikke kommer over det som anses som den laveste temperaturen som kan igangsette en ulmeprosess. Så vil disse ikke bli behandlet videre.



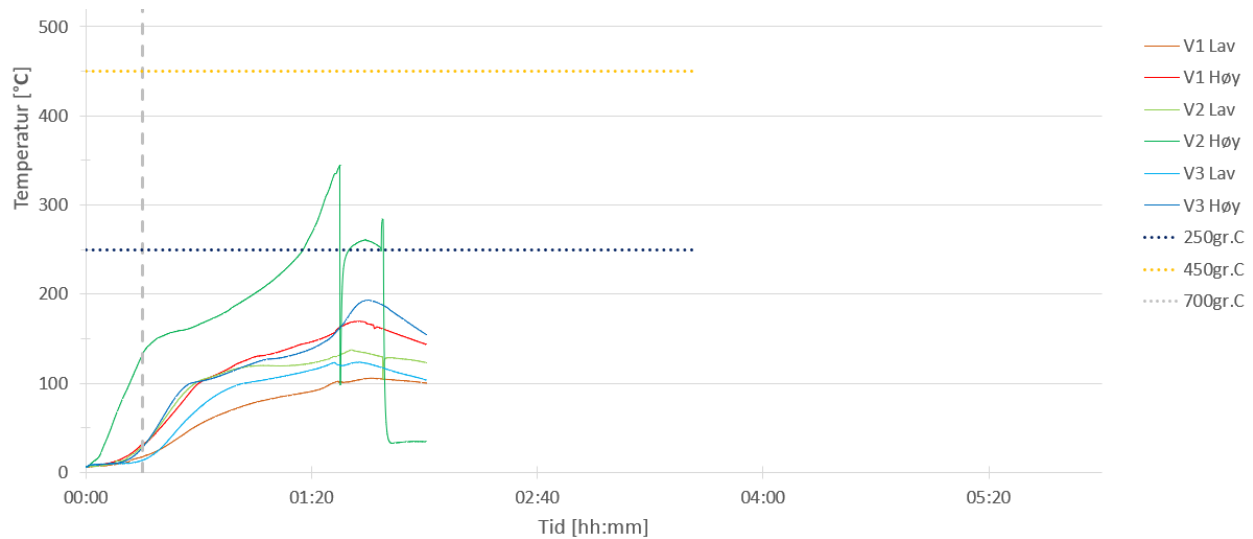
Figur 5-3: Temperatur stigning under forsøk #7 for alle termoelementer plassert inne i søylene. Maks temperatur i søylene er under 250 °C gjennom hele forsøket. Mørkeblåprikkete linjen viser hvor 250 °C ligger.

### 5.2.2 Over 250 °C

Under forsøk #13 og #14 har alle termoelementene i søylene en temperatur stigning, men denne stigningen har for to av søylene resultert i en økning over 250 °C. For resterende søyler var temperatur økningen under 200 °C. Søylene fra forsøk #13 og #14 ble plassert i bokser og veid. Grafen fra forsøk #13 er vis under, se Figur 5-4. Boksene med søylene (V1, V2 og V3) ble for forsøk #13 veid tre ganger. Første gang var fra ca. 00:41 til 00:46 minutter ut i nedkjølingen, andre gang var fra ca. 01:31 til 01:34 ut i nedkjølingen. Ved å sammenligne tidspunktet for andre veiing med grafen ser det ut som



termoelementene til søyle V2 høy har løsnet under håndteringen av boksene. Tiden temperaturen var over 250 °C for forsøk #13 og #14 er veldig kort.



Figur 5-4: Temperatur stigning under forsøk #13 for alle termoelementer plassert inne i søylene. Maks temperatur i søylene er over 250 °C i en kort periode. Mørkeblå prikkete linjen viser hvor 250 °C ligger.

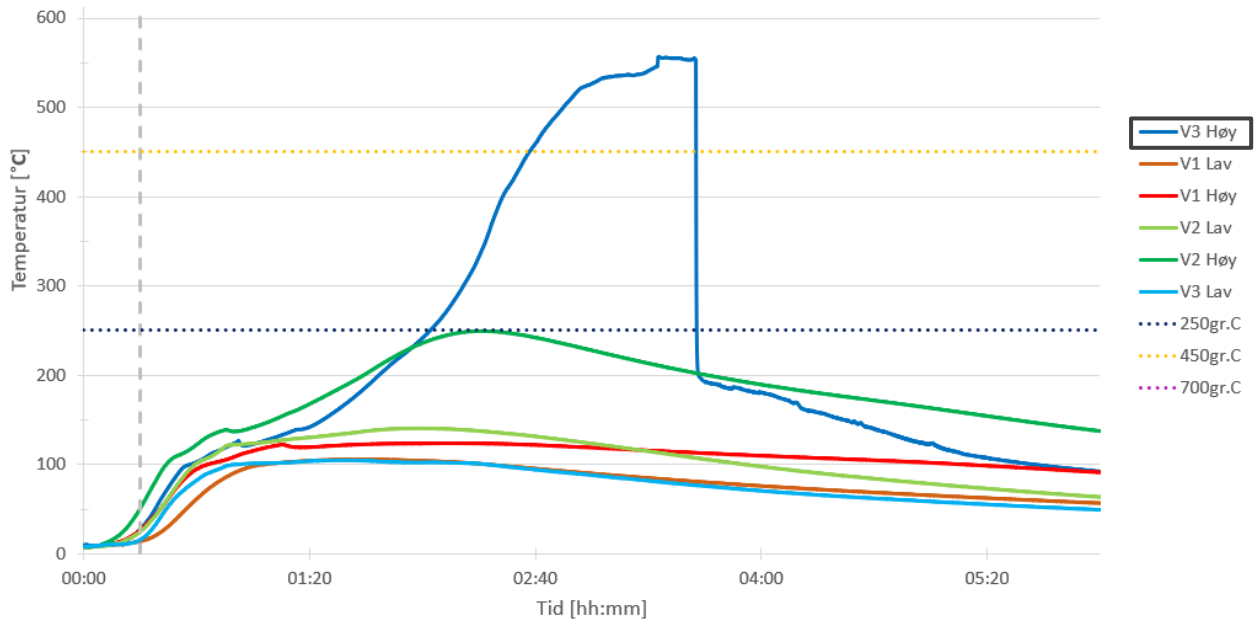
### 5.2.3 Over 450 °C

Under forsøk #1, #2 og #3 har termoelementene i søylen V3 høy en temperatur stigning over 450 °C.

Under forsøk #1 når søyle V3 høy en maksimumstemperatur på ca. 660 °C. Temperaturen holder seg over 450 °C i ca. 1 time. Under forsøk #2 når søyle V3 høy en maksimumstemperatur på ca. 556 °C.

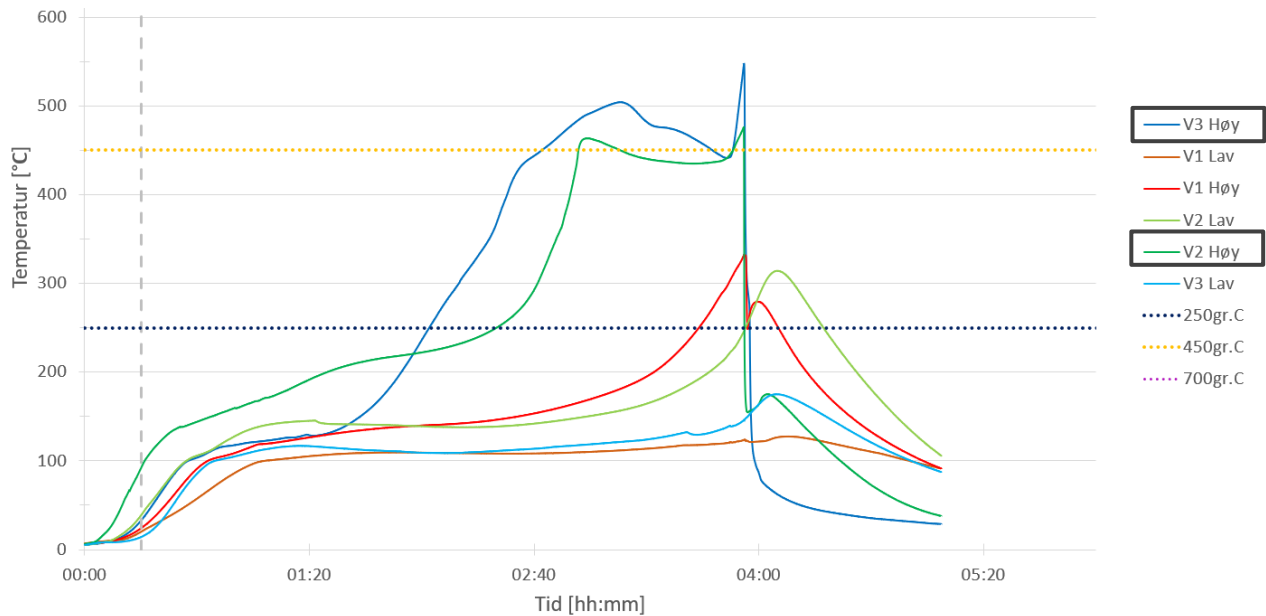
Temperaturen holder seg over 450 °C i ca. 1 time, se Figur 5-5. Under forsøk #3 når søyle V3 høy en maksimumstemperatur på ca. 671 °C. Temperaturen holder seg over 450 °C i 1 time og 30 minutter.

Dette er de samme søylene som det er observert ulming i, se kap. 4.2 Ulming i rommet.



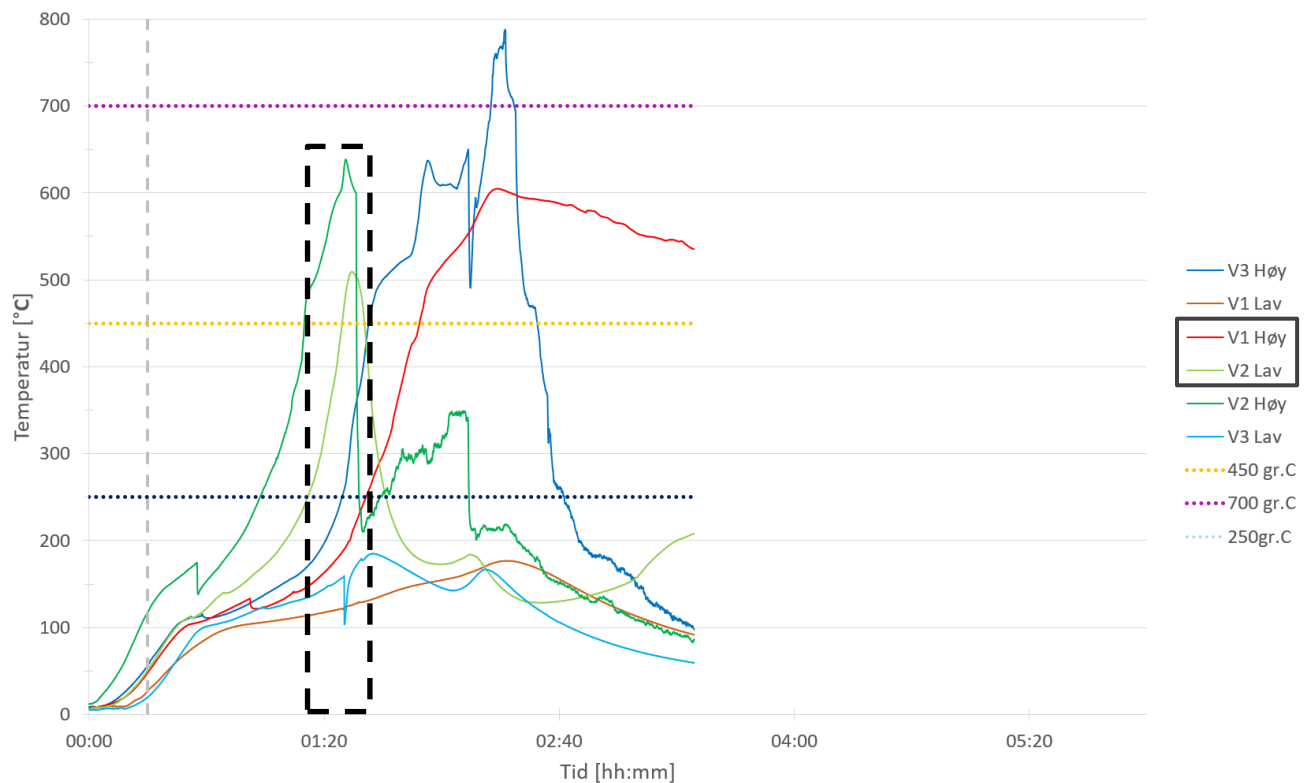
Figur 5-5: Forsøk #2, søyle V3 har en temperaturstigning over 450°C (markert med oransjeprikkete linje) under forsøk #2. Tilsvarende stigninger er også observert i søyle V3 for forsøk #1 og #3.

Forsøk #8: Søyle V3 høy har også en maksimumstemperatur på ca. 548 °C og søyle V2 høy har en maksimumstemperatur økning ca. 476 °C. For forsøk #8 er det observert ulming i søyle V2 høy. Deler av søyle V2 var vekke dagen etter, se Figur 4-24 . Etter forsøket var over ble det helt vann over søylene for å slukke flammene og glødene som var synlig (kan sees i Figur 5-6 som en tilnærmet vertikal linje 4 timer ut i forsøket). Slik at forsøkshallen kunne forlates trykt for natten. Det er ikke registrert/observert ulming i søyle V3-Høy.



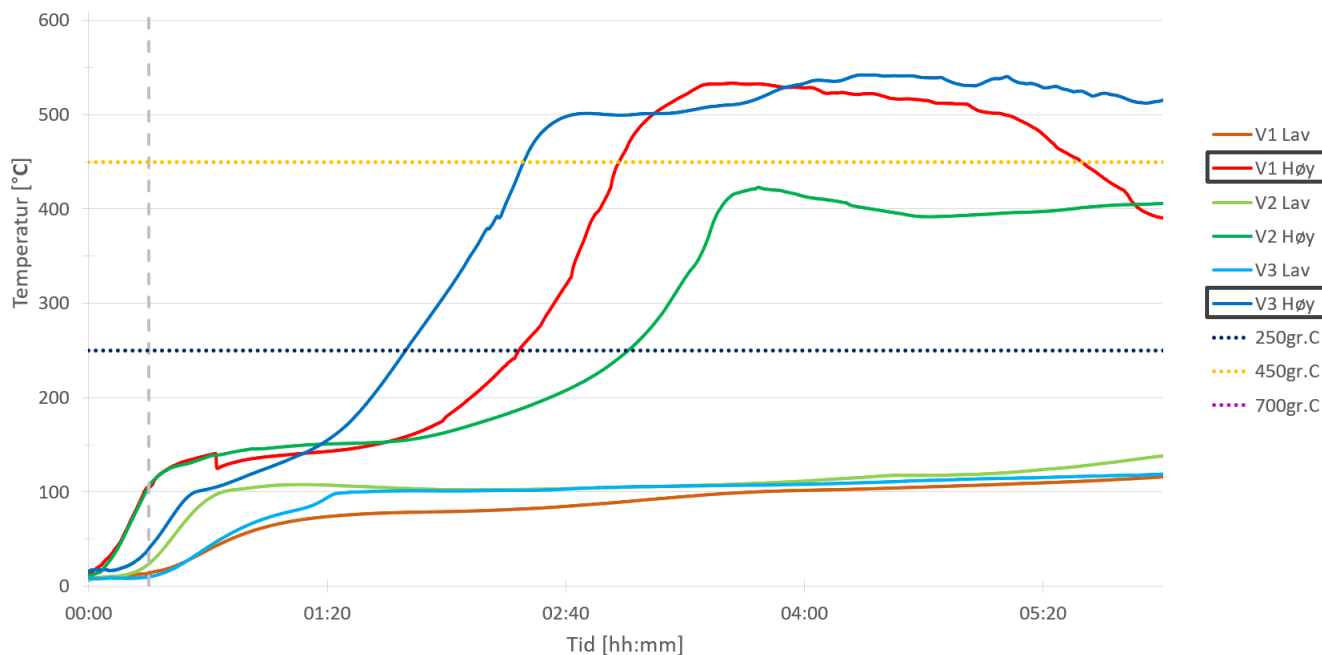
Figur 5-6: Forsøk #8, Søyle V3 høy og V2 høy har en temperaturstigning på over 450 °C.

Forsøk #16: Etter døråpningen til forsøksrommet ble tettet har det under forsøk kommet inn større mengder frisk luft. Dette har resultert i at det har utviklet seg til en flammebrann i rommet. Det har bidratt til at massivtre søylene har delaminert. Dette forsøket skiller seg derfor noe ut i forhold til andre forsøk som er omtalt i kapittelet. Under dette forsøket fokuserer vi derfor på søyle V1 høy som har hatt en jevn temperaturøkning og en temperatur over 450 °C i over en time. Maksimumstemperatur for søyle V1 høy har vært på ca. 605 °C. Søyle V2 lav har også en interessant utvikling under dette forsøket. Maksimumstemperatur for søyle V2 lav er 509 °C. Søyle V2 høy har en maksimumstemperatur for søyle V2 lav er 638 °C. Perioden temperaturen var over 450 °C var veldig kort i forhold til observasjoner fra de andre forsøkene. Når forsøket ble avsluttet var det en pågående temperaturøkning i søylen. Det ble også observert gløder i søylestykke som ble hentet ut fra forsøksrommet. Ulmeprosessen fortsatte til neste dag, men de ble ikke logget temperatur data fra den perioden.



Figur 5-7: Forsøk #16, Søyle V2 ulmet etter den var fjernet fra forsøksrommet. Den svarte stiplede rektangelet viser tidsrom det var et mellomrom mellom rom og gipsplate. Mellomrommet har ført at forsøksrommet har fått tilgang på ekstra luft, som har ført til mere turbulente forhold enn vanlig. På slutten av den forsøken er de en pågående temperatur økning i søyle V2 lav, det er denne som senere ulmer.

Under forsøk #17 har termoelementene i søylen V1, V2 og V3 - høy en temperatur stigning over 250 °C, se Figur 5-8. I søylen V1 og V3 - høy forsetter temperaturøkningen til den overstiger 450 °C, se Figur 5-8. Maksimumstemperatur for søyle V1 høy har vært på ca. 533 °C og maksimumstemperatur for søyle V3 høy har vært på ca. 542 °C.



Figur 5-8: Forsøk #17, søylen V1 og V3 - høy har en temperaturøkning over 450 °C.

#### 5.2.4 Forkulingshastighet

De tre søylene som er plassert på venstre side (V1, V2 og V3) av rommet blir eksponert for brann forskjellig. V1 søylen er plassert ved døren og har to sider som eksponeres for brannen. Søylen V2 er plassert mitt i forsøksrommet og blir eksponert for brannen fra alle fire sidene. Søylen V3 er plassert i hjørne ved siden av brenneren og blir eksponert fra brannen fra to sider, se Figur 5.4 2 for plassering av søylen. Termoelementene til søylene er plassert inn mot venstre side av vegg. For søylen V1 og V2 er dette på ueksponert side i forhold til brannen.

Tradisjonelt har heltre stokker blitt brukt i bærende konstruksjoner. I dag er det mere vanlig å bruke heltre som råstoff til å lage limtre eller massivtre. I prosessen mister man noe av egenskapene ved brann (den isolerende tykkelsen til det forkullede laget), men man får nye egenskaper i form av styrke og muligheten til å lage tykkere og lengre elementer enn de som vokser naturlig i skogen.

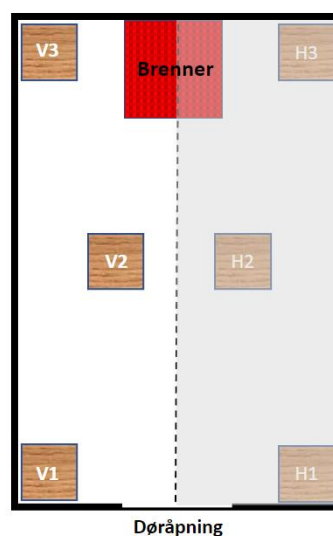
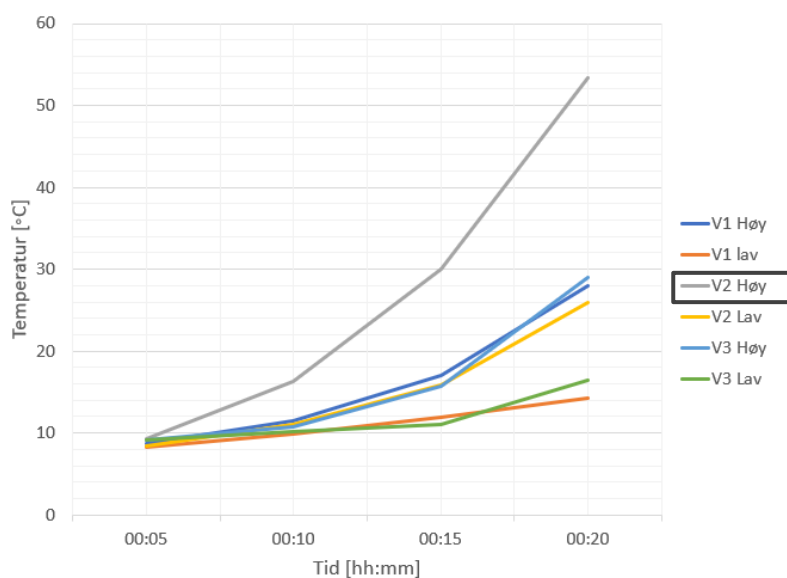
I forbindelse med gjennomgangen av forsøksdata fra alle forsøkene er det laget tabeller som angir temperatur økning i rommet og søyler i løpet av de første 20 minuttene av eksperimentene. Bare Tabell 5-1 fra forsøk #2 er tatt med i rapporten.

Tabell 5-1: Forsøk #2, temperatur utvikling i rommet de første 20 minuttene.

00:05:00	Rom	VTD Høy	VTD Lav	VTC Høy	VTC Lav	G-V2 høy	G-V2 lav
		783	105	625	20	704	62
	Bjelker	V1 Høy	V1 lav	V2 Høy	V2 Lav	V3 Høy	V3 Lav
		9	8	9	8	9	9
00:10:00	Rom	VTD Høy	VTD Lav	VTC Høy	VTC Lav	G-V2 høy	G-V2 lav
		812	241	701	47	757	144
	Bjelker	V1 Høy	V1 lav	V2 Høy	V2 Lav	V3 Høy	V3 Lav
		11	10	16	11	11	10

00:15:00	Rom	VTD Høy	VTD Lav	VTC Høy	VTC Lav	G-V2 høy	G-V2 lav
		863	374	768	125	816	250
	Bjelker	V1 Høy	V1 lav	V2 Høy	V2 Lav	V3 Høy	V3 Lav
17		12	30	16	16	11	
00:20:00	Rom	VTD Høy	VTD Lav	VTC Høy	VTC Lav	G-V2 høy	G-V2 lav
		860	424	769	151	814	287
	Bjelker	V1 Høy	V1 lav	V2 Høy	V2 Lav	V3 Høy	V3 Lav
28		14	53	26	29	16	

Under gjennomgangen av alle tabellene er det tydelig at søyle V2 høy alltid har den hurtigste og høyeste temperaturøkningen, se Figur 5-9. Dette kan virke logisk siden V2 søylen er den eneste av søylene som blir eksponert av brannen på alle fire sidene, se Figur 5-10 for plassering av søyle V2.



Figur 5-10: Plassering av søyler.

Figur 5-9: Temperaturutvikling i søylene de 20 første minuttene fra forsøk #2.

Som en del av etterarbeidet etter forsøkene er alle søylene delt opp i stykker som er ca. 10 cm lange. Alle søylene ble delt opp på samme måte for å kunne sammenligne. Det er tatt bilder av søylene når de er 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm, 70-80 cm, 80-90 cm og 90-100 cm. Oppdelingen og fotograferingen av delene er gjort for å kunne undersøke hvor langt inn i søylene forkull/ulmingen er har beveget seg.

Eurokode 5, Del 1-2: gir forkullingsrater for trevirke. Verdiene kan brukes til å beregne en teoretisk forkullingsdybde for branner som påvirker trevirke fra en og to sider. De teoretiske beregningene blir noe upresise når man sammenligner med hva som blir målt forkullingsdybde under forsøk.

Under gjennomgang av bildene som er tatt av søylene er det tydelig at forkulling dybden varierer i samme søyle og ut ifra plassering i forsøksrommet, se Figur 5-11, Figur 5-12 og Figur 5-13. Bildene er fra forsøk #2, søyle V3. Variasjonen er også tydelig når bilden fra forsøk #17, søyle V3 gjennomgås, se Figur 5-14, Figur 5-15 og Figur 5-16. Det kommer også tydelig fram fra bildene at søylene er eksponert for

brannen på to av sidene. Det ytterste svarte laget er det forkullete laget, mens de brunere område er det varmepåvirkelige laget og innerst er det upåvirket område av søylen.



Figur 5-11: Forsøk #2, søyle V3: Øvre del av søylen (70-80 cm)



Figur 5-12: Forsøk #2, søyle V3: Noen cm under toppen er det upåvirket trevirke (60-70 cm)



Figur 5-13: Forsøk #2, søyle V3: Noen cm under toppen er det upåvirket trevirke (50-60 cm)



Figur 5-14: Forsøk #17, søyle V3: Øvre del av søylen (30-40 cm)



Figur 5-15: Forsøk #17, søyle V3: Noen cm under toppen er det upåvirket trevirke (20-30 cm)



Figur 5-16: Forsøk #17, søyle V3: Noen cm under toppen av søylen (10-20 cm).

### 5.2.5 Søyler i bokser

Etter den første brannen var slukket ble søylene i fra forsøk #13, #14 og #15 plassert i bokser. Dette ble gjort i håp om å kunne loggføre temperaturendringene i forhold til massetap. Søylen med temperaturelementer ble fjernet fra forsøksrommet og plassert i bokser. Boksene ble plassert ved siden av forsøksrommet og en etter en ble de løftet opp på vekten. Vekten viste seg å være litt for liten for boksene. Når boksene ble plassert oppå vekten var de vanskelig å lese av en korrekt vekt grunnet bevegelser i boksen. En vekt ble brukt til å veie 6 bokser (3 med heltre - søyler og 3 med massivtre - søyler). Ideen var god men dessverre ble ikke resultatet som ønsket. Hvis andre ønsker å gjennomføre lignende målinger så anbefales de flere vekter.

## 5.3 Påvirkning på forsøk

Alle forsøkene er utført i samme nedskalerte forsøksrom med samme mengde gass og brannbart materiell. Men ingen av forsøkene har vært like. Det kan være andre elementer som også har en innvirkning på forsøkene. Noen av disse vil bli gjennomgått i kapiteler under.

### 5.3.1 Påvirkning fra massivtre søyler

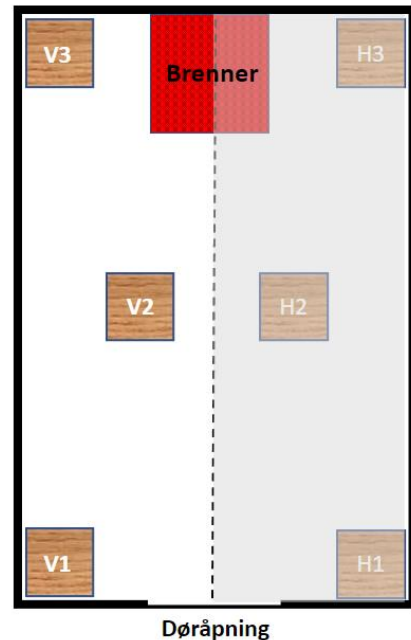
Under alle de 20 forsøkene som er utført er de plassert 3 heltresøyler og tre massivtre (KLT) søyler i forsøksrommet, se Figur 5-18 for plassering av søylene. Under 6 av forsøkene (#10, #12, #13, #14, #15 og #19) ble ikke åpningen inn til forsøksrommet tettet. Under disse forsøkene er det observert at massivtre søylene har hatt avskaleringer/delaminering. Delamineringen har intruffet et stykke ut i nedkjølingsfasen. Delaminering er når en eller flere av lamellene til massivtre søylene faller av. Når lamellene faller av eksponeres friskt trevirke for brannen. Dette kan føre til oppblussing av brannen. (Reitan et al., 2019)

Lamellene som faller av massivtre søylene blir liggende i bunnen av rommet. Noen av lamellene ble liggende nær eller inntil heltre søylene. I forsøkene hvor forsøksrommet var åpnet under nedkjølingsfasen er dette observert. Men ut fra restene av lameller som er funnet etter de andre forsøkene kan vi se at dette også har intruffet når forsøksrommet var lukket.

Forsøk #10 var en forsøkene hvor åpningen var åpen under hele forsøket. Under dette forsøket kunne det observeres at lamellene fra bjelke H2 falt av og landet ved siden av søyle V2 se Figur 5-17. De fallende lamellene har bidratt til varmestråling fra lamellene til søylene og rommet. Varmestrålingen fra lamellene ser ut til å ha bidratt til å opprettholde en høy pyrolyse rate som igjen har forårsaket at diameteren til søyle V2 er drastisk redusert i forhold til den øvre delen av søylen.



Figur 5-17: Bilde er tatt inn gjennom den åpne døren under forsøk #10. Viser søyle V2 som er plassert i midten av rommet. Rundt den nedre delen av søylen kan de observeres lameller som har falt av. Den nedre delen av søyle V2 har en mindre gjenstående diameter en den øvre del av søylen.



Figur 5-18: Plassering av søylene i forsøksrommet, sett oven i fra. Søyle V1, V2 og V3 er av heltre og søyle H1, H2 og H3 er av massivt tre.

### 5.3.2 Varmestråling

Forsøkene som denne oppgaven omhandler, er utført over en periode på 9 uker. Forsøksrommet er i noen av forsøkene kaldt, men i andre forsøk varmt. I forsøksrom vil gassene fra brannen samle seg under taket. Gassene vil bidra til å varme taket og veggene. Overflatene og den varme gassen vil bidra med stråling til søylene som er plassert i rommet. Åpningen til rommet vil kunne begrense mengden frisk luft som kan tilføres brannen (Karlsson & Quintiere, 1999).

I Tabell 4-1: Oppsummering av utførte forsøk finnes informasjon om temperatur i rommet oppe og nede ved forsøkets start. De finnes også informasjon om forsøket er dages første eller andre.

Under forsøkene er det brukt stålplater som en del av takkonstruksjonen. Disse har andre egenskaper enn i forbindelse med varmetransport og varmemestråling en lett betong blokkene som rommet er laget av har. Platene har i løpet av forsøkene blitt utsatt for varme som har resultert i tydelige tegn til deformasjon. Dette kan sees på Figur 5-19. I løpet av forsøkene har de også løsnet små deler fra platene se Figur 5-20. Når data fra forsøk #10 (første for dagen), #11 (andre for dagen), #12 (tredje for dagen) gjennomgås kan det sees en temperatur i rommet lavt og høyt øker for vært av forsøkene. Økningen er høyest for temperaturene som måles høyt i rommet. Hvordan eller om platene har hatt innvirkning på forsøkene resultatene har ikke blitt videre undersøkt, men gitt egenskapene til metall kan stråling fra metallplatene hatt en innvirkning.





Figur 5-19: De tre stålplaten viste etter forsøk 9 var gjennomført tydelige tegn til deformasjon.



Figur 5-20: Små biter løsnet fra stålplatene.

Nå Tabell 4-1 gjennomgås kan se at forskjellen mellom temperaturen nede og oppe i rommet er mellom 1 til 6,30 °C. for forsøk (#2, #3, #7 #9, #13, #14, #15 og #17) som er i henhold til ISO834. Unntaket er for forsøk #8 og #16 som ente opp å ulme. Her er temperatur forskjellen mellom lavt og høyt i rommet for forsøk #8: 13,57 °C. og for forsøk #16: 57,46 °C.

I forsøker hvor de er blitt observert rødglødene platter har temperatur vært så stor at søylene har brent opp. Disse forsøkene har også blitt vurdert opp mot ISO834 og funne å ikke samsvare med kriteriene. forsøkene har derfor ikke blitt vurdert videre.

Nå Tabell 4-1 gjennomgås kan se at forskjellen mellom temperaturen nede og oppe i romme for forsøk som ikke er i henhold til ISO834 er mellom 10 og 34,78°C. Unntaket er for forsøk #4:0,43 °C. og #10: 1,39 °C. Forsøkene vil ikke bli vurdert videre siden de ikke oppfyller kriteriene med å være i henhold til ISO834.

### 5.3.3 Material i brenner

De første 6 (#1, #2, #3, #4, #5 og #6) forsøkene ble utført med samme kattesand i brenneren. Etter forsøk #4 var utført ble de observert deler av kattesanden som var i brenneren var begynt å gå i oppløsning, bli til sand. Etter hver av forsøkene var avsluttet ble forsøksrommet ryddet, og rester fra søylene ble fjernet. Rester som samlet seg i brenneren ble også fjernet.

Før forsøk #7 ble gjennomført ble innholdet i brenneren skiftet ut. De neste to forsøkene (#8 og #9) ble det ikke gjort noe med kattesanden i brenneren. Før forsøk #10 ble kattesanden rensset se Figur 5-21 for bilder før og Figur 5-22 for bilde etter.



*Figur 5-21: Innholdet i brenner etter forsøk #9. Bilde er tatt før brenneren ble renset.*



*Figur 5-22: Innholdet i brenneren før forsøk #10 ble gjennomført. Bilde er tatt etter brenneren ble renset.*

Etter forsøk #10 var gjennomført var det flere biter av trevirke oppi brenneren. Deler av sanden var også våt etter vannet som var påført forsøket for å slukke flammene se Figur 5-23. For forsøk #11 ble gjennomført ble derfor 90% av kattesanden i brenneren byttet ut. De nederste laget som var med nettingen ble ikke byttet ut se Figur 5-24.



*Figur 5-23: Tilstanden oppi brenneren etter forsøk #10 var ferdig. Deler av sanden er mørkere grunnet vann som er påført flammene.*



*Figur 5-24: 90 % av kattesanden ble byttet ut før forsøk #11. De nederste laget som var plassert over nettingen ble ikke fjernet.*

Før forsøk #13 og #16 ble gjennomført ble all kattesanden i brenneren fjernet og nettingen i bunnen inpsisert se Figur 5-25. Nettingen viste tegn til slitasje og dekket ikke dele bunnen av brenneren. Før forsøk #18 ble kattesanden byttet ut med en kattesand av en annen type se Figur 5-26.



*Figur 5-25: Brenneren ble tømt før forsøk #13 og #16. Nettingen dekker ikke hele arealet til brenneren.*



*Figur 5-26: Kattesanden i brenneren ble byttet før forsøk #18 til ny type.*

Av de 20 forsøkene som er gjennomført er 9 (#4, #5, #6, #10, #11, #12, #18, #19 og #20) av disse ikke i henhold til ISO834. Når vi sammenligner med denne informasjonen med når det ble byttet kattesand. Ser vi at for forsøk #4, #5 og #6 var det gammel kattesand i brenneren som viste tegn til degradering i form av at deler av granulaten var på vei til å omdannes til sand. Under forsøk #10 var det også gjenbruk av kattesand. Før forsøk #11 ble 90 % kattesanden byttet ut, men ikke den nederste delen. Forsøk #12 ble utført med samme kattesand som forsøk #11. Det kan ikke utelukkes at kattesanden har hatt en innvirkning på hvordan gassen har blitt fordelt i brenneren.

Etter hvert forsøk så har forsøksrommet blitt ryddet for rester etter de foregående forsøket. Dette har innebært å krype inn i forsøksrommet og fysisk fjerne restene. På grunn av rommets begrensede størrelse så har brenneren og innhold blitt utsatt for slag og bevegelser som kan ha forstyrret materialet i brenneren.

I henhold til ISO 9705, vedlegg A skal brenner være fylt med et lag grus og et lag sand. Lagene skal være skilt med et metalnett. I brenneren som er brukt under eksperimentene som omhandles i denne master oppgaven er det bare brukt kattesand, mengden/dybden kattesand kan ha variert i brenneren under forsøkene. Det er ikke gjort noen vurderinger om kattesand har lik eller ulike egenskaper en den anbefalt masse med grus eller sand som er anbefalt i ISO 9705.

## 5.4 Oppsummeringer

Tabell 5-2 inneholder informasjon om alle søylene i forsøk som har ulmet. «X» indikere hvilken del av søylen som ulmet. «U» indikere søyler hvor den midterste delen er ulmet vekk. «M» er søyler hvor de er mistanke om ulming, ut fra temperaturen som er målt i termoelementene og stigning vist i graf. Tm er makstemperaturen under forsøket.

Tabell 5-2: Oversikt over forsøk som har ulmet.

Forsøk	Søyler	Plassering	Tm [°C]	Ulmet
#1	V1	Høy	117	
		Lav	76	
#1	V2	Høy	143	
		Lav	117	
#1	V3	Høy	660	X
		Lav	85	
#2	V1	Høy	124	
		Lav	106	
#2	V2	Høy	249	
		Lav	140	
#2	V3	Høy	556	X
		Lav	105	
#3	V1	Høy	120	
		Lav	112	
#3	V2	Høy	189	
		Lav	135	
#3	V3	Høy	671	X
		Lav	109	

Forsøk	Søyler	Plassering	Tm [°C]	Ulmet
#8	V1	Høy	332	
		Lav	127	
#8	V2	Høy	476	U
		Lav	314	
#8	V3	Høy	548	M
		Lav	175	
#16	V1	Høy	605	M
		Lav	177	
#16	V2	Høy	638	
		Lav	509	X
#16	V3	Høy	788	
		Lav	185	
#17	V1	Høy	533	U
		Lav	110	
#17	V2	Høy	423	M
		Lav	125	
#17	V3	Høy	542	U
		Lav	116	

For forsøk #8: søyle V3, forsøk #16: søyle V1 og forsøk #17: søyle V2 kan temperaturen i termoelementene indikere at de muligens har vært en ulmeprosess i søylene. For å kunne klassifisere disse som ulming eller ikke har bilder av søylene blir gjennomgått. Gjennomgangen viser at for forsøk #8: søyle V3 og forsøk 17: søyle V2 er det ikke funnet bevis for ulming. Begge søylene har sprekker som kunne ha gitt «beskyttelse» til en ulmeprosess, men det er ikke observert aske i tilknytning til disse, se Figur 5-27 for eksempel på sprekk. For forsøk #16: søyle V1 er det under gjennomgangen av bilder funnet bevis for at det var ulming i søylen, se Figur 5-28.



*Figur 5-27: Bilde fra forsøk #8, søyle V3 (40-50 cm opp fra bunn) sprekk i søyle (rød ring rundt), ingen aske.*



*Figur 5-28: Bilde fra forsøk #16, søyle V1 viser sprekk i søyle med aske.*

Det har under forsøkene vært ulming i 8 søyler.

## 6 Konklusjon

Det er utført 20 forsøk, hvor 60 søyler er blitt utsatt for branneksposering i 20 minutter. Av 20 forsøk er 9 (#4, #5, #6, #10, #11, #12, #18, #19 og #20) forkastet på grunn av for høy temperatur (27 søyler). Av resterende 33 søylene er det 8 søyler som har ulmet.

De tre søylene som er plassert i forsøksrommet har blitt eksponert for brann på forskjellig måte. Søyler V1 og V3 har to sider som eksponeres for brannen. Søyler V2 er plassert midt i forsøksrommet og blir eksponert for brannen fra alle fire sidene. Søyler V2 har under forsøkene hatt hurtigste og høyeste temperaturøkningen de første 20 minuttene.

Under forsøk #1, #2 og #3 er det søyler V3 som har ulmet i toppen av søylen. Under disse forsøkene var det et hull i forsøksrommet som senere ble tettet. For forsøk #8 (søyler V3) og forsøk #17 (søyler V1 og V3) var den midterste delen av søylen helt forsvunnet. Toppdelen hang igjen i skruen som var ment å holde den på plass. Under forsøk #16, søyler V1 og V2 er ulmingen konsentrert til området mellom termoelementene.

I 6 (#10, #12, #13, #14, #15 og #19) av forsøkene ble døren inn til forsøksrommet ikke lukket. Ingen av disse forsøkene ulmet. Søyler fra 3 forsøk (#13, #14 og #15) ble lagt i bokser.

Det har ikke blitt identifisert faktorer som kan bistå med å predikere ulmebranner i en tidlig fase av brannforløpet.

## 7 Fremtidig arbeid

I forsøkene som er utført i denne oppgaven er det plassert 3 heltre søyler og 3 massivetre søyler. I enkelte av forsøkene særlig de med høyere temperatur er det klart at limtresøylene har hatt en negativ innvirkning på heltresøylene. Med en negativ innvirkning menes i dette tilfelle delamineringen av deler fra søylene som har sprettet av limtresøylene. Disse delene har i noen tilfeller vært glødene og har dermed virket som en ekstra varmekilde på heltre søylene. Enkelt av V2 søylene har vist tegn til å ha redusert diameter i den nedre delen av søylene. Der de glødene delene fra søyle H2 har landet og virket som en ytre påvirkning på søylene.

De kunne også vært interessant å gjenskape hullene vi hadde i rommet under forsøk #1, #2 og #3 for å se om den økte luft tilgangen i disse forsøkene førte til en økt sannsynlighet for ulming eller om dette bare har vært en tilfeldighet.

Når åpningen inn til forsøksrommet har vært stengt, har det ikke vært mulig å si med sikkerhet hva som har skjedd inni forsøksrommet. Den eneste informasjonen man får er da fra termoelementene som er plassert i rommet og i søylene. Det kunne vært interessant å få satt inn et glass tilsvarende som brukes i peiser, langs en av veggene i rommet. For derved å få et bedre innblikk i hva som skjedde i rommet under nedkjølingen. Hvis man i tillegg plasseres et kamra ved vinduet. Vil de i ettertid kunne være mulig å sammenligne film med de registrerte temperaturøkningen.

Under forsøkene med bokser var det utfordrerne å løfte boksene av og på vektene. Skal denne delen av forsøket gjenskapes bør de helst være flere vekter som boksene kan stå på under hele nedkjølingen. Boksene var også større en vektene noe som gjorde at boksene i noen tilfeller vippet på vekten og dermed avgå feil vekt eller at de tok lenger tid før vekten stabiliserte seg.

De bør brukes en netting i brenneren som dekker hele flaten, slik at de ikke kan komme kattesand over kanten og ned i under nettingen. Kattesanden bør også byttes ut etter hvert forsøk for å sikre at det blir like forhold.

Fuktighet er målt for alle forsøksstykkene før de ble plassert i forsøksrommet. Alle søylene har hatt en målbar fuktighet mellom 8,5 – 15,1%. Søyler med høyere og lavere fuktighet kan oppføre seg annerledes enn de som er brukt under forsøkene. Å utføre forsøke med et bredere fuktighets spekter kunne vært interessant.

Under forsøkene hadde vi muligheter til å benytte 20 termoelementer. Termoelementene ble plassert i rommet og i søylene. Skal lignende eksperimenter utføres igjen vil jeg anbefale å plassere noen termoelementer i forskjellige dybder i søylen. En mulighet er å på forhånd finne antatt forkullings hastighet for materialet og ut ifra dette beregne forkullingsdybden ut ifra forsøkskriteriene som settes. I forsøkene som er gjennomført er det bare plassert termoelementer i to posisjoner på søylen. Dette bør økes. I Forsøk #8 begynte den midtre delen av søylen å ulme. Dette var mellom de to punktene som termoelementene var plassert. Vi gikk derfor glipp av data som kunne vært interessant.

## 8 Referanser

- 98 x 98 Konstruksjonsvirke av gran. (2023). <https://www.obsbygg.no/trelast-og-tyngre-byggevarer/treverk/konstruksjonsvirke/ubehandlet-konstruksjonsvirke/2281161>
- Babrauskas, V. (2021). *Smoldering fires*. Fire science publishers.
- Dalen, B. R. (2021). *Overflatebehandling av krysslaminert tre, En eksperimentell studie*.
- Dypå, M. (2023). *Ulming i konstruksjonsvirke som følge av ekstern branneksposering—Forsøk med krysslaminert-trevirke*.
- Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering (EN 1995-1-2:2004+NA:2010). (2010). Stander norge.  
<file:///C:/Users/thero/OneDrive/Master%202023/341704189581nsen01995122004na20101en02.pdf>
- Flatland, R. (2007, June 29). *Fokus på tre-serien | Trefokus, Tradisjonsbasert byggemetoder Nr.42*.  
<http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/42-Tradisjonsbaserte-byggemetoder.pdf>
- folkemuseum, K., & Byggeskikk og arkitektur i Nord-Rogaland /. (2021, May 31). *Grindbygg – byggeteknikk—Bygg og Bevar*. <https://www.byggogbevar.no/pusse-opp/tre/artikler/grindbygg-byggeteknikk>
- Gonzalez-Retamal, M., Forcael, E., Saelzer-Fuica, G., & Vargas-Mosqueda, M. (2022, August 18). From Trees to skyscrapers: Holistic review of the Advances and limitaations of multy- storey timer buildings. *Buildings* 2022,12,1263.
- ISO 834-1, *Fire resistance test-Elements of building construction*. (1999). ISO.
- ISO 9705-1:2016, *Reaction to fire test-Room corner test for wall and ceiling lining products*. (2016). ISO.
- KL-tre (massivtre). (2023). Moelven. <https://www.moelven.com/no/no/limtre/kl-tre-massivtre/>
- Limtreboka. (2015). Norsk Limtreprodusenters Forening.  
[https://limtreforeningen.no/images/Limtreboka\\_2015\\_el2.pdf](https://limtreforeningen.no/images/Limtreboka_2015_el2.pdf)



Moelven. (2019, March 1). *Nå er verdens høyeste trehus åpnet*. Moelven.

<https://www.moelven.com/no/aktuelt-og-nyheter/nyhetsarkiv/2019/na-er-verdens-hoyeste-trehus-apnet/>

Nordal, A. G. (2016, January 13). *Høyhus i massivt tre – bærekraftig bølge*. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/hoyhus-i-massivt-tre-baerekraftig-bolge/>

Rein, G. (2016). Smoldering Combustion. In M. J. Hurley, D. Gottuk, J. R. Hall, K. Harada, E. Kuligowski, M. Puchovsky, J. Torero, J. M. Watts, & C. Wieczorek (Eds.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (pp. 581–603). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0\\_19](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_19)

Reitan, N. K., Friquin, K. L., & Mikalsen, R. F. (2019). SAFETY & TRANSPORT RISE FIRE RESEARCH, Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger – en litteraturstudie. *RISE*, 88.

Rygh, P. (2023). Høyhus. In *Store norske leksikon*. <https://snl.no/h%C3%B8yhus>

Skaug, E. (2008). *Fokus 40—Trevirkets oppbygging og egenskaper | Treteknisk*.

<https://www.treteknisk.no/publikasjoner/fokus-pa-tre/fokus-40--trevirkets-oppbygging-og-egenskaper>

*Slik monteres en verdensrekord*. (2018, August 16). Moelven. <https://www.moelven.com/no/aktuelt-og-nyheter/nyhetsarkiv/2018/slik-monteres-en-verdensrekord/>

Solberg, M. G. (2015, December 9). *I dag åpner verdens høyeste trehus*. Tu.No.

<https://www.tu.no/artikler/i-dag-apner-verdens-hoyeste-trehus/276298>

*Standard limtre gran*. (n.d.). Moelven. Retrieved May 6, 2023, from

<https://www.moelven.com/no/no/limtre/standard-limtre/>

*Treet*. (2023). BOB. <https://bob.no/nye-boliger/alle-prosjekter/treet/>

## 9 Vedlegg

### 9.1 Vedlegg A – Testprosedyre

---

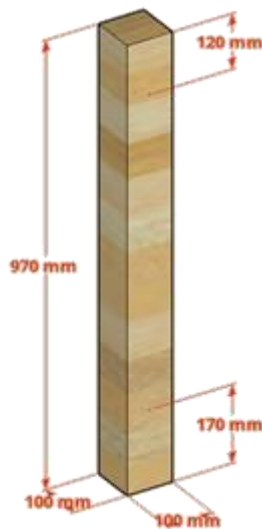
## Del 1 - Forberedelse av forsøk

---

Metodeskrivet gir en enkel forklaring av aktiviteter som må gjennomføres i forkant av hvert forsøk.

### Forsøkstykker

- 1) Sag til forsøkstykket
  - H = 97 cm
  - B = 10 cm
  - L = 10 cm
  
- 2) Forbor for plassering av termoelementer i forsøkstykket
  - a) Plasser hvert elementsentrisk på bredden av prøvestykket
    - 12 cm fra topp av prøvestykke
    - 17 cm fra bunn av prøvestykke
  
- 3) Mål fuktighet og vekt, noter dette ned, se Tabell 9-1



Figur 9-1: Forsøkstykke med plassering for termoelement

**Tabell 9-1: Eksempel på logg av vekt og fuktighet**

#	KLT / Heltre	Vekt [kg]	Fukt [%]
V1.	Heltre		
V2.	Heltre		
V3.	Heltre		
H1.	KLT		
H2.	KLT		
H3.	KLT		

4) Noter informasjon på ende/topp og langsida, se Figur 9-2 og Figur 9-3.


**Figur 9-2: Merking av forsøksstykkene**

**Figur 9-3: Merking av bunnen av forsøksstykkene**

## Termoelementer

1) Plasser termoelementer i henhold til Tabell 9-2 og Tabell 9-3, og Figur 9-4 til Figur 9-7.

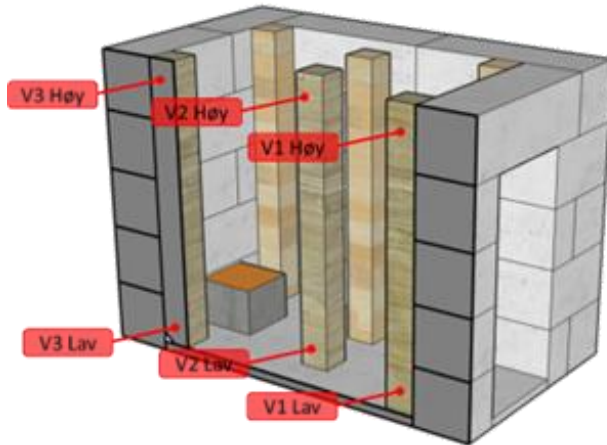
**Tabell 9-2: Plassering av termoelementer i forsøksstykker**

	Plassering	Probe No.
V1	Høy	19
	Lav	20
V2	Høy	15
	Lav	16
V3	Høy	11
	Lav	12
H1	Høy	10
	Lav	9
H2	Høy	6
	Lav	5
H3	Høy	1
	Lav	2

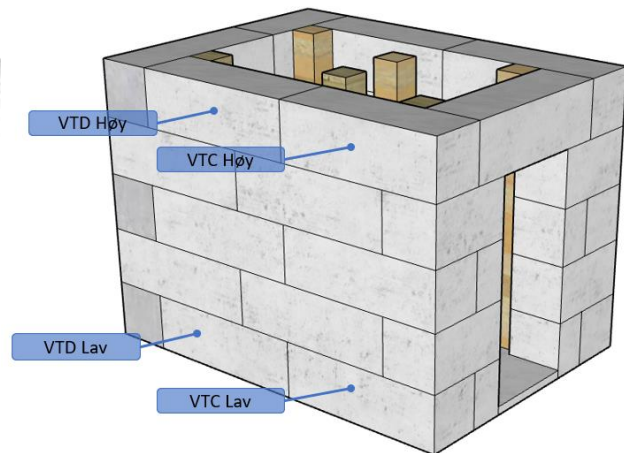
**Tabell 9-3: Plassering av termoelementer i forsøksrom**

	Plassering	Probe No.
VTD	Høy	7
	Lav	8
VTC	Høy	3
	Lav	4
HTB	Høy	17
	Lav	18
HTA	Høy	13
	Lav	14

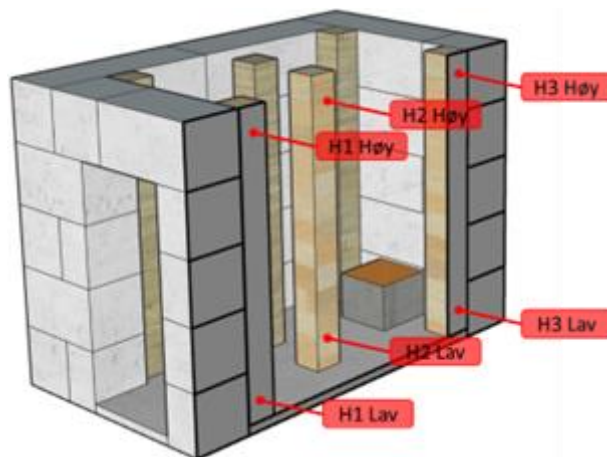
2) Plasser forsøksstykkene i henhold til Figur 9-4 og Figur 9-6.



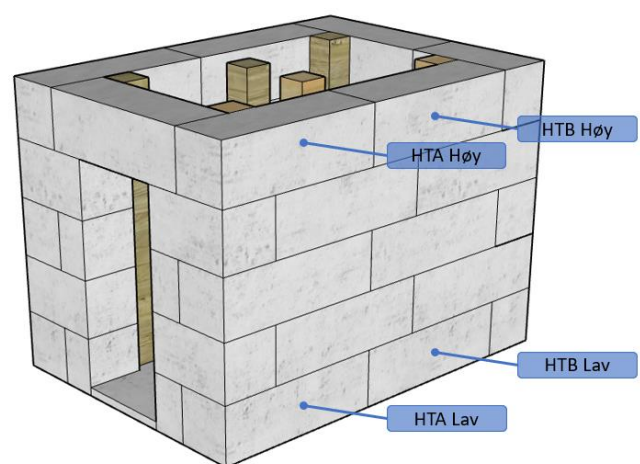
Figur 9-4: Plassering av termoelementer i heltre



Figur 9-5: Plassering av termoelementer i rom, gjennom vegg (Venstre side)



Figur 9-6: Plassering av termoelementer i KLT



Figur 9-7: Plassering av termoelementer i rom, gjennom vegg (Høyre side)

- 3) Plasser "takkonstruksjon" (isolasjon, stålplate og siporexplate)
- 4) Verifiser at gass og cockpit (datamaskiner, loggeapparater og reguleringsventil) er koblet til.

## Del 2 - Gjennomføring av forsøk

Gir en enkel forklaring av aktiviteter som utgjør selve forsøket. Etter 20 minutters branneksponeering er det tre forskjellige fremgangsmåter.

### Eksponeering av forsøkstykker for ekstern brannlast i 20 minutter

- 1) Start logging av temperatur.
- 2) Tenn på tennbrikett og før denne inn i brenner ved hjelp av lang pinne.
- 3) Åpne for gass og verifiser flowmengde: 1.23 g/s.
- 4) Steng gasstilførsel etter 20 minutter

### Etter 20 minutter; Alternativ 1) Blokker døråpning

- 5) Sett i dør (gipsplate) i forsøksrommets åpning.
- 6) Monitorer forsøket, varighet av hvert forsøk avhenger av hvordan forsøket utvikler seg. Stopp logging av data når dette vurderes som hensiktsmessig.
- 7) Ta av tak.
- 8) Ta ut forsøkstykker og noter vekt på eventuelle rester av forsøkstykker, se Tabell 9-4.

Tabell 9-4: Eksempel på logg til bruk etter brannforløp (alternativ 1)

#	Vekt [kg]	Kommentar
V1.		
V2.		
V3.		
H1.		
H2.		
H3.		

### Etter 20 minutter; Alternativ 2) La døråpning stå åpen

- 9) La døråpning stå åpen etter at gass er stengt av.
- 10) Monitorer forsøket, varighet av hvert forsøk avhenger av hvordan forsøket utvikler seg. Stopp logging av data når dette vurderes som hensiktsmessig.
- 11) Ta av tak.
- 12) Ta ut forsøksstykker og noter vekt på eventuelle rester av forsøksstykker, se Tabell 9-4.

### Etter 20 minutter; Alternativ 3) Løft forsøksstykker over i bokser

- 13) Løft av tak. Hvor lenge en venter før tak løftes av vurderes for hvert enkelt forsøk. Tid i forhold til start av forsøk noteres ned.
- 14) Ta ut forsøksstykkene og vei hvert enkelt forsøksstykke før det legges i egen isolert boks. NB! Vær varsom med termoelementene! Ønskelig at disse blir stående i forsøksstykket.
- 15) Vei boks + forsøksstykke, gjenta veiing ca. hvert 30 minutt. Noter vekt og tidspunkt, se Tabell 9-5.

Tabell 9-5: Eksempel på logg til bruk etter brannforløp

#	Vekt [kg]	Tid [minutt]	Kommentar
V1.			
V2.			
V3.			
H1.			
H2.			
H3.			