



Sammenheng mellom fuktighet i treverk og tiden til overtenning

Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Amalie Gunnarshaug
Brit Schei

Kand.nr. 8
Kand.nr. 9

Haugesund

Våren 2016



BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Amalie Gunnarshaug
Brit Schei

Linje & studieretning: Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel: *Sammenheng mellom fuktighet i treverk og tiden til overtenning*

Oppgavetekst:

Fuktinnholdet i trevirke vil påvirke brannutviklingen og tiden til overtenning. Ved varmeeeksponering vil energien først brukes til å fordampe vannet isteden for å varme opp treet. Økt fuktinnhold vil derfor føre til økt tid til antennelse og påvirke brannforløpet.

Det vil i denne oppgaven bli forsket på om fuktigheten i trevirke vil påvirke tiden til overtenning. Det vil bli sett på brannutviklingen i 1/4 ISO-rom med ulik fuktighet. Cone Calorimeter vil bli brukt for å se på tid til antennelse og underbygge resultatene.

Gjennom forsøk og litteraturstudie vil det bli sett på hvordan fuktigheten i trevirke vil påvirke tid til overtenning, massetapsraten til trevirke, temperaturutvikling og brannspredning.

Endelig oppgave gitt: Onsdag 2.mars 2016

Innleveringsfrist: Onsdag 4.mai 2016 kl. 12.00

Intern veileder: Arjen Kraaijeveld

Ekstern veileder: Torgrim Log

Godkjent av studieansvarlig:

Dato:

15/4 - 16



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Sammenheng mellom fuktighet i treverk og tiden til overtenning		
Utført av Brit Schei Amalie Gunnarshaug		
Linje		Studieretning
Sikkerhet, Brannteknikk		Ingeniør
Gradering Åpen	Innlevert dato	Veiledere Arjen Kraaijeveld Prof. Torgrim Log
Ekstrakt Denne oppgaven har til hensikt å se på sammenhengen mellom fuktighet i treverk og tiden til overtenning. Det har blitt gjennomført forsøk med ¼ ISO rom av limtreplater (1,8 cm tykkelse), hvor en 2 kW metanolbrann ble benyttet som pilotflamme. Under forsøkene ble det registrert temperatur i røyklaget samt massetapet til rommet og pilotflammen. I tillegg ble det satt opp to videokamera for å kunne observere tid til antennelse i vegg, tak, overtenning og fullt utviklet rombrann.		

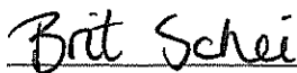


Forord

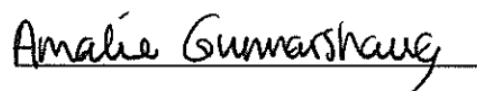
Hovedoppgaven representerer avslutningen på 3. året i studiet branningeniør ved Høgskolen Stord/Haugesund. Hele oppgaven utgjør 20 studiepoeng. Rapporten vektlegges med 15 studiepoeng, mens de 5 resterende poengene består av et produkt og en plakat.

Valg av oppgave ble bestemt etter vi kom i kontakt med Prof. Torgrim Log, høsten 2015. Dette virket som en spennende oppgave vi kunne ta mye teoretisk og praktisk lærdom av. Oppgaven har gitt oss ny og spennende kunnskap. Lite forskning har blitt gjort rundt temaet, dette har ført til at vi har brukt mye tid på å sette oss inn i prosjektet og finne relevant litteratur. Det har dukket opp utfordringer underveis, hvor vi har måtte tenke nytt for å finne løsninger. Dette er helt klart en erfaring som vil komme godt med videre i karrieren.

Vi vil rette en stor takk til våre veiledere Arjen Kraaijeveld og Prof. Torgrim Log for en utmerket veiledning og gode ideer underveis. Spesielt takk til Arjen for god hjelp ved gjennomføring av forsøkene på brannlaben, samt klargjøring av materiell.



Brit Schei



Amalie Gunnarshaug

Haugesund, 2016

Sammendrag

Store deler av Norge består av trehusbebyggelse. Trehusbebyggelser er svært sårbare og utsatte for brann, spesielt i vinterhalvåret hvor statistikken viser en større brannfare. Trevirke er et hygroskopisk materiale, som vil si at treet opptar og avgir fuktighet, spesielt avhengig av luftens relative fuktighet. Over tid vil derfor fuktigheten i trevirke endres. Vinterhalvåret i store deler av Norge er ofte preget av perioder med kaldt og tørt vær med mye vind. Dette gir ekstra lav luftfuktighet i oppvarmede hus og tørt trevirke innendørs.

Hensikten med denne oppgaven er å se på sammenhengen mellom fuktighet i treverk og tiden til overtenning ved brann i småskala rom av tre. Det ble gjennomført 10 forsøk med en størrelse tilnærmet ¼ ISO rom av limtreplater (1,8 cm tykkelse). Rommene ble kondisjonert til en trefuktighet mellom 4 – 15 vekt%. En 2 kW metanolbrann ble benyttet som pilotflamme, plassert innerst i hjørnet i rommet. Under forsøkene ble det registrert temperatur av røyklaget, massetap til rommet og pilotflammen. To videokamera ble brukt for å observere tid til antennelse i vegg, tak, overtenning og fullt utviklet rombrann. Forsøkene ble utført på brannlaben ved Høgskolen Stord/Haugesund.

Ved å redusere fuktinnholdet i trerommet fra 9,3 vekt% (tilsvarer luft med 50 % relativ fuktighet (RF)) til 4,2 vekt% (tilsvarer luft med 20 % RF) ble tiden til overtenning redusert fra 10 minutter til 3 minutter. Ved 13,5 vekt% (tilsvarer luft med 80 % RF) fuktinnhold var tiden til overtenning hele 17 minutter. Dette tilsvare en økning i tid til overtenning som er over fem ganger så stor, sammenlignet med det tørreste rommet (4,2 vekt%). I tillegg ble det observert at jo tørrere rommet er, desto mer og større flammer oppstår utenfor brannrommet i tiden etter overtenning.

Flere teorier som i utgangspunktet er utviklet for en fullskala rombrann, ser også ut til å stemme i mindre skala. Temperaturforløpet utvikler seg som forventet, hvor det først er en rask økning frem til overtenning, videre stabiliserer temperaturen seg og gradvis fortsetter temperaturen å øke. I et fullskala forsøk, hvor det vil ta lengre tid for brannen å spre seg, kan resultatene se noe annerledes ut. Likevel gir forsøkene en klar indikasjon på hvordan brannforløpet og tiden til overtenning vil være avhengig av fuktinnholdet i trevirke.

Forsøkene viser klart at fuktnivået i trevirke i stor grad påvirker tid til overtenning så vel som sannsynlighet for brannspredning til nabobebyggelse. God kunnskap om treverkets egenskaper i forhold til fuktighet og brannspredning vil være spesielt viktig for brannvesenet med tanke på kontroll av selve brannen og videre brannspredning.

For å underbygge resultatene ble det gjennomført forsøk med konkolorimeter, hvor det ble sett på tid til antennelse av trevirke. Etter anbefalinger fra internasjonal litteratur ble en strålefluks på 50 kW/m² benyttet. Prøvestykker (10cm * 10cm) ble laget av tilsvarende limtreplater som for trerommene. Prøvestykkene ble kondisjonert til en fuktighet mellom 2 – 14 vekt%. På grunn av den høye strålefluksen ble det liten forskjell i tid til antennelse og dermed ingen tydelig trend.

Abstract

Large parts of Norway consist of wooden houses. Wood constructions are prone to fires, and statistics particularly shows a higher fire frequency during the winter season. Wood is a hygroscopic material, which means that it absorbs and emits moisture, depending on the relative humidity. Therefore, the fuel moisture content (FMC) will change over time. The winter season in most parts of Norway is often characterized by dry and windy periods, hence there is a low air humidity and low FMC inside heated inhabited buildings.

The purpose of the present work was to investigate how fuel moisture content influences burning rate and time to flashover in small scale wooden compartments. This was done through 10 experiments with compartments of about $\frac{1}{4}$ scale of laminated wood panels (1,8 cm thick). A 2 kW methanol fire in a rear corner served as the start fire. The compartments were conditioned to 4 – 15 % FMC. The experiments were implemented at the fire lab at University College Stord/Haugesund. During the experiments the temperature of the smoke layer, mass loss rate of the compartment and the start fire were recorded. Two video cameras were used to observe the time to ignition in the walls, ceiling, time to flashover and to fully developed compartment fire.

Reducing the FMC from 9,3 % FMC (corresponding air of 50 % relative humidity (RH)) to 4,2 % FMC (corresponding air of 20 % RH) reduced the time to flashover from 10 minutes to 3 minutes. FMC value of 13,5 % FMC (corresponding air of 80 % RH) increased the time to flashover to 17 minutes. This corresponds to an increase in time to flashover that is over five times larger, compared to the compartment with 4,2 % FMC. It is also observed that the drier the wood, the higher mass loss rates and more flames outside the compartment.

Theories that initially are set for a full scale compartment fire, also seems to fit quite well for a smaller scale. The temperature profile developed as expected. First there was a rapid increase, then the temperature stabilized and subsequently it continued to increase gradually. In a full scale experiment, where the flames must travel further vertically before reaching ceiling level, the results may be quite different. Still, the results attempt a clear indication of how the fire development and time to flashover will depend on the FMC.

The experiments clearly show that the FMC largely effects the time to flashover as well as the probability for fire spread to neighbour buildings. Good knowledge about fuel moisture content bearing fire development is important for the fire brigade in terms of control of the flames and further fire spread.

To corroborate the results, experiments with Cone Calorimeter where done to look at time to ignition. A heat flux of 50 kW/m^2 , recommended from international literature, and a test sample of laminated wood (10cm * 10cm) were utilized. The test samples were conditioned from 2 – 14 % FMC. Because of the high heat flux there was little difference in time to ignition, hence no clear trend.



Innholdsfortegnelse

Forord	v
Sammendrag	vi
Abstract	vii
Figurliste	4
Tabelliste	5
1 Innledning	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Formål	8
1.3 Metode	8
1.4 Begrensninger	9
1.5 Tidligere arbeid	9
DEL 1: ¼ ISO rom	10
2 Teori	10
2.1 Rombrann	10
2.1.1 Nedskalering av rombrann	11
2.2 Varmetransport	12
2.2.1 Varmestråling	12
2.2.2 Varmeledning	13
2.2.3 Konveksjon	13
2.2.4 Flyvebrann	14
2.3 Luftfuktighet	14
2.4 Trevirke	15
2.4.1 Fuktighet i trevirke	15
2.4.2 Brannegenskaper	17
2.4.3 Forbrenningsvarme	18
2.4.4 Massetapsrate	19
2.4.5 Energiproduksjon	19
2.4.6 Overtenning	20
2.5 Vitenskapelig metode	20
3 Forsøk	22
3.1 Romdimensjoner	22
3.2 Klargjøring av materiell	22
3.2.1 Tørt rom	23
3.2.2 Fuktig rom	23
3.3 Forsøksoppsett	24
3.3.1 Vekt og bunnplate	24
3.3.2 Termoelement	25
3.3.3 Pilotflamme	25
3.3.4 Video	26
3.4 Gjennomføring	26
3.5 Referanse dør	29



4 Resultat	30
4.1 Temperatur	30
4.2 Massetapsrate	30
4.3 Energiproduksjon	31
4.4 Tid til overtenning	32
4.5 Brannspredning	33
5 Diskusjon	35
5.1 Temperatur og massetapsrate	35
5.2 Kriterier for tid til overtenning	36
5.3 Brannspredning	36
5.4 Feilkilder og usikkerhet	37
5.4.1 Nedskalering	37
5.4.2 Pilotflamme	37
5.4.3 Termoelement	37
5.4.4 Beregning av fuktighet	37
5.4.5 Fukt-/tørkeprosess	38
6 Konklusjon	39
7 Forslag til videre arbeid	40
DEL 2: Konkallorimeter	41
8 Teori	41
8.1 Konkallorimeter	41
8.1.1 Beregning for tid til overtenning	42
9 Forsøk	43
9.1 Klargjøring av materiell	43
9.2 Apparatur	43
9.3 Gjennomføring	43
10 Resultat	45
11 Diskusjon	46
11.1 Konkallorimeter	46
11.2 Feilkilder og usikkerhet	46
12 Konklusjon	47
13 Forslag til videre arbeid	48
DEL 3: ¼ ISO rom vs. konkallorimeter	49
Referanser	50
Vedlegg A: Instrumenter	I
Vedlegg B: Klargjøring av ¼ ISO rom	II
Vedlegg C: Tørkeprosess	IV
Vedlegg D: Fuktprosess	V
Vedlegg E: Bunnplate	VI
Vedlegg F: Data ¼ ISO rom	X



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Vedlegg G: Bilder fra forsøk	XI
Vedlegg H: Effekt pilotflamme	XIV
Vedlegg I: Konkallorimeter data	XV
Vedlegg J: Konkallorimeter rapport	XVI



Figurliste

Figur 1 Fasene i en rombrann	10
Figur 2 Grafisk fremstilling av hvordan den relative fuktigheten endrer seg med temperaturen [25].	14
Figur 3 Naturtilstand, fibermetningspunkt og tørr ved for trevirke.	15
Figur 4 Likevektsfuktighet som funksjon av relativ fuktighet, ved 0, 22 og 100°C.	16
Figur 5 Prosess ved gjennomføring av forsøk. [31]	21
Figur 6 Romdimensjoner for rommet.....	22
Figur 7 Tørkerom med plassering av vifte (konstruktør: Torgrim Log)	23
Figur 8 Bildet til venstre viser fuktkammeret som ble benyttet (konstruktør: Arjen Kraaijeveld). Bildet til høyre viser fuktkassen.	24
Figur 9 Forsøksoppsett. Rommet er klar til forsøk.....	24
Figur 10 Plassering av termoelement.	25
Figur 11 Forsøksoppsettet viser plassering av karet på vekt B, sett fra siden.	25
Figur 12 Kriteriene som er beskrevet i Tabell 5. Bilder tatt fra forsøk med 4,2 vekt% fuktinnhold.	26
Figur 13 Registrert temperatur som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet. .	30
Figur 14 Registrert massetapsrate som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.	30
Figur 15 Energiproduksjon som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.	31
Figur 16 Overskudd av varmeproduksjon, $Q_c > Q_{FO}$, som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.....	32
Figur 17 Tid til overtenning som funksjon av fuktinnhold [33].....	33
Figur 18 Skjematisk bilde av konkalorimeter. [34].....	43
Figur 19 Tid til overtenning, t_{FO} , som funksjon av fuktinnhold.....	45
B. 1 Plate A og B med tilhørende mål.....	II
B. 2 Resultatet etter to av plate A og tre av plate B er satt sammen.	III
B. 3 Rommet sett forfra etter at døren er skjært ut.	III
Figur C. 1 Tørkerom av isopor med plassering av vifte.	V
Figur D. 1 Teltet som ble benyttet til å fukte trerommene.	VI
Figur E. 1 Bunnplate med tilhørende mål.....	VII
Figur E. 2 Limtreplaten med mål.	VIII
Figur E. 3 Plassering av limtreplaten på undersiden av bunnplaten.....	VIII
Figur E. 4 Kloss med mål.	IX
Tabell F. 1 Oversikt over forholdet mellom massen av rommet og massen av døren, som er målt på samme tidspunkt.	X



Figur G. 1 Forsøksoppsett, sett forfra, med plassering av pilotflamme.....	XI
Figur G. 2 Termoelement sett ovenfra.	XI
Figur G. 3 Rommet med 15,08 % fuktinnhold etter gjennomført forsøk.....	XII
Figur G. 4 Pilotflammen.	XII
Figur G. 5 Tørt ¼ ISO rom pakket inn i plast.	XIII
Figur G. 6 Fullt utviklet rombrann.	XIII
Figur H. 1 Massetapsrate for metanol som funksjon av tid.	XIV

Tabelliste

Tabell 1 Ordforklaringer.....	6
Tabell 2 Den effektive emisjonskoeffisienten fra flammer og røyk produsert ved brann trevirke [23].	13
Tabell 3 Hendelser ved oppvarming av trevirket.	18
Tabell 4 Forbrenningsvarmen til tre uten vanninnhold [30].	18
Tabell 5 Kriterier for å fastslå; antennelse i vegg, antennelse i tak, overtenning og fullt utviklet rombrann.	26
Tabell 6 Dato, fuktinnhold i rommene, romtemperatur og relativ fuktighet på brannlaben under forsøkene.	27
Tabell 7 Oversikt over tid til overtenning; når stikkflammer observeres ut av åpningen, temperaturen når 550°C og $Q_c > Q_{FO}$	32
Tabell 8 Oversikt over observert brannspredning i de ulike forsøkene, basert på observasjoner.	33
Tabell 9 Tid fra antennelse i tak første gang til forbrenningen går ned og maks temperatur.	34
Tabell 10 Oversikt over gjennomsnittlige verdier fra de ulike forsøksseriene.	45
Tabell A. 1 Oversikt over utstyr som er benyttet i de ulike prosessene.	I
Tabell F. 1 Oversikt over forholdet mellom massen av kassen og massen av døren, som er målt på samme tidspunkt.....	X
Tabell H. 1 Verdier for massetapsrate [19].	XIV
Tabell H. 2 Beregnet effekt	XIV
Tabell I. 1 Oversikt over data som er benyttet til å finne gjennomsnittlige verdier til resultat for konkalorimeter.....	XV



Tabell 1 Ordforklaringer.

Ordforklaringer	
Absorbere	Trekke til seg eller ta imot noe. [1]
Atom	Den minste byggesteinen i et grunnstoff. Et atom har en kjerne av protoner og nøytroner. Elektronene har forskjellig energi og beveger seg hurtig i skall rundt kjernen. [2]
Avtrekk	Ventilasjonsanlegg som kontrollerer røykproduksjonen fra en brann under et forsøk.
Brannscenario	Kvalitativ beskrivelse av forløpet av en brann med hensyn til tid, med angivelse av spesifikke hendelser som karakteriserer den analyserte brannen og skiller den fra andre mulige branner. [3]
Eksperiment	En vitenskapelig metode for å utprøve en teori.
Ekstern	En ytre faktor.
Flammepunkt	Den laveste temperatur der et materiale eller produkt avgir tilstrekkelig brennbar gass til og antenne momentant ved eksponering for flamme ved angitte prøvebetingelser. [4]
Gnist	Liten glødende og svevende partikkel av et fast stoff som lyser på grunn av varme.
ISO rom	Et rom med størrelsesorden i henhold til ISO 9705.
Kjemisk energi	En form for potensiell energi som er knyttet til elektriske krefter mellom atomer og molekyler. Kjemisk energi kan omformes til andre former for energi i kjemiske reaksjoner. [5]
Legeme	En gjenstand.
Molekyl	To eller flere atomer bundet sammen til en elektrisk nøytral enhet. [6]
Overtenning	Overgang til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i en brann. [7]
Pilotflamme	Tennkilde.



Polymer analyse	Analyse av store molekyl eller struktur sammensatt av mange lignende enkeltdeler, ofte i lange kjeder. [8]
Prosedyre	Fremgangsmåte.
Pyrolyse	Irreversibel kjemisk spalting av et stoff under påvirkning av varme. [9]
Regresjons analyse	Samlebetegnelse på statistiske analysemetoder som har til mål å beskrive sammenhengen mellom en eller flere uavhengige variabler og en avhengig variabel. [10]
Risiko	Uttrykk for kombinasjon av sannsynlighet for og konsekvens av en uønsket hendelse. [11]
Selvantennelse	Antennelse av et stoff uten tilførsel av varme utenfra. [12]
Spontanantennelse	Antennelse av et stoff med tilførsel av varme utenfra, men uten tennkilde. [13]
Tennpunkt	Den laveste temperaturen der et materiale antennes og oppnår vedvarende forbrenning under angitte prøvebetingelser. [14]
Trend	Langtidstendensen i en utvikling. [15]
USB	Universal Serial Bus (universell seriebuss)



1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Høsten 2015 kom vi i kontakt med Professor Torgrim Log. Prof. Log har utarbeidet en artikkel [16] hvor det blir sett på risiko i forhold til brann, i et kaldt og tørt klima, med utgangspunkt i brannen som oppstod i Lærdal, Januar 2014.

Store deler av Norge består av trehusbebyggelse. Trehusbebyggelser er svært sårbare og utsatte for brann, spesielt i vinterhalvåret hvor statistikken viser en større brannfare. Vinterhalvåret i store deler av Norge er ofte preget av perioder med kaldt og tørt vær samt mye vind.

18. Januar 2014 oppstod det en katastrofal brann i Lærdal, som førte til store materielle skader. De tørre forholdene og den sterke vinden førte til at brannen spredte seg forttere enn hva brannmannskapet klarte å kontrollere. Brannen hadde allerede begynt å spre seg til nabobebyggelsen før brannvesenet ankom 5 minutter etter de mottok den første meldingen. Hele 40 trebygninger ble totalskadet, hvorav fire var historiske bygninger. Det er i ettertid vist at før brannen startet, så hadde trevirke utendørs et fuktighetsinnhold på ca. 7,6 vekt% og trevirke innendørs et fuktinnhold på 4,5 vekt%, noe som er svært lavt (tørt). [16]

Med bakgrunn i dette er det videre interessant å se på hvordan lavt fuktinnhold i treverk kan påvirke brannutviklingen i en rombrann, sammenlignet med et høyere fuktinnhold.

1.2 Formål

I denne oppgaven skal det sees på hvordan fuktigheten i trevirke vil påvirke tiden til overtenning. Hovedformålet med oppgaven er å se på brannspredning i et tilnærmet ¼ ISO rom hvor overtenning er vektlagt. Videre er det interessant å se om det er mulig å dra en sammenheng mellom forsøk med ¼ ISO rom og forsøk med konkalorimeter.

1.3 Metode

Forsøkene med ¼ ISO rom ble gjennomført på brannlabben ved Høgskolen Stord/Haugesund. Det ble bygget 12 trerom av limtreplater av furu (1,8 cm tykkelse), som ble brukt til forsøkene. Rommene hadde et fuktinnhold mellom 4-14 vekt%. Det ble gjort målinger av temperatur og massetap under forsøkene, samt filming for å kunne observere brannspredningen.

I tillegg ble det gjennomført 30 forsøk med konkalorimeter, inndelt i 5 serier. Her ble det benyttet teststykker av samme materiale som trerommene og fuktinnhold fra 2-14 vekt%.

Som en del av det ferdige sluttproduktet skal det også utarbeides en film, som demonstrerer forbrenning av et fuktig og et tørt rom.



1.4 Begrensninger

I denne oppgaven finnes det begrensninger i forhold til:

- Nedskalering av ISO rom
- Tennkilde (størrelse og plassering)
- Temperatur og fuktnivå utendørs og i brannlåben
- Materialbegrensning (det er kun gjort forsøk med limtreplater av furu (1,8 cm tykkelse), resultatene kan bli annerledes ved bruk av annet materiale)
- Kun vegger og tak kan antennes
- Beregning av fuktigheten i treverket
- Sot på termoelement

1.5 Tidligere arbeid

Høsten 2015 ble det gjennomført tilsvarende forsøk med $\frac{1}{4}$ ISO rom. Resultatene fra disse forsøkene viste ingen klar trend og det var vanskelig å dra en endelig konklusjon på hvordan fuktigheten i treverket påvirket tid til overtenning. [17]

DEL 1: ¼ ISO rom

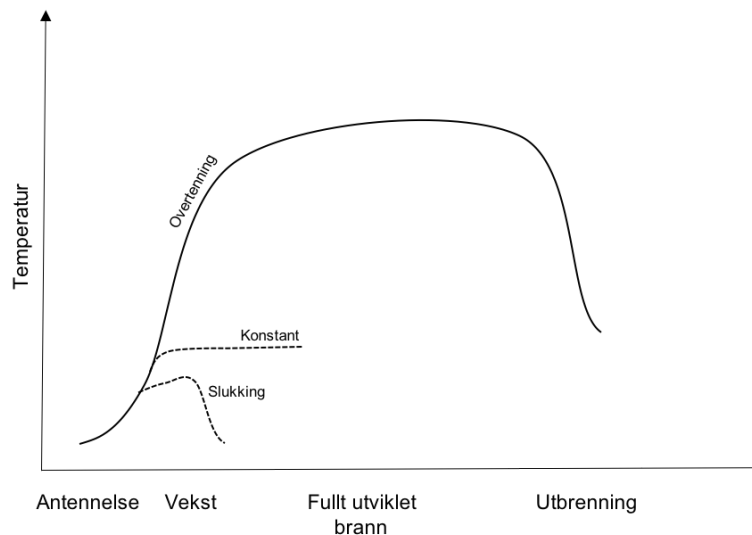
Del 1: ¼ ISO rom representerer hoveddelen av prosjektet. Her inngår en teoridel, forsøksdel, samt diskusjon og konklusjon.

2 Teori

2.1 Rombrann

En brann er i [18] definert som *"Uønsket eller ukontrollert forbrenningsprosess som kjennetegnes av varmeavgivelse ledsaget av røyk, flamme eller glødning"*. For at en brann skal kunne utvikles må følgende kriterier være tilstede samtidig: tilstrekkelig med oksygen, brensel og varme, samt en kjedereaksjon.

Hvor hurtig en brann utvikler seg og hvilke temperaturer som oppnås vil variere fra brann til brann. En typisk temperaturutvikling i en rombrann er vist i Figur 1. [19]



Figur 1 Fasene i en rombrann.

En brann som får brenne fritt i et rom vil utvikle seg gjennom fem faser [20]:

1. Antennelsesfasen
2. Vekstfasen
3. Overtening
4. Fullt utviklet brann
5. Utbrenningsfasen

Antennelsesfasen er en prosess hvor det produseres en eksoterm reaksjon som gjenkjennes med en temperaturøkning som er relativt høy i forhold til omgivelsestemperaturen. Antennelse kan enten oppstå med pilotflamme, spontanantennelse eller ved selvantennelse, hvor materialet kan være et fast stoff, væske eller gass. [20]



Etter antennelsesfasen kan brannen utvikle seg og vokse. Avgjørende faktorer i vekstfasen er avhengig av type forbrenning, mengden av brennbart materiale, omgivelser og tilgang på oksygen. Dette vil være med å påvirke brannens utvikling og det kan oppstå tre ulike utfall: slokking, brenne konstant eller vokse.

Overtenning er overgangen fra vekstfasen til fullt utviklet brann. Overtenning oppstår som regel ved en temperatur på rundt 500-600 °C eller når varmestrålingen fra røyklaget til gulvflaten overstiger 20 kW/m². Overtenning gjenkjennes ofte ved at røyklaget antennes og at det kan observeres stikkflammer ut av åpninger. Det bemerkes at overtenning nødvendigvis ikke trenger å være en del av brannforløpet. Det kan fortsatt oppstå fullt utviklet brann uten at overtenning oppstår.

Ved fullt utviklet rombrann er brannen på sitt største og er i denne fasen ventilasjonskontrollert, som vil si at brannen i rommet ikke kan bli større enn lufttilgangen tilsier. Denne fasen kan gjenkjennes ved at alle overflater i rommet er antent. Dersom det ikke er nok oksygen i brannrommet, vil uforbrente gasser antenne på utsiden av rommet ved kontakt med oksygen. Temperaturen i denne fasen ligger mellom 700-1200 °C.

I utbrenningsfasen vil tilgang på brennbart materiale være avgjørende. Brannen går i denne fasen fra å være ventilasjonskontrollert til å bli brenselskontrollert. Brannens energiproduksjon reduseres, som medfører en lavere temperatur. Brannen vil fortsette å brenn til alle brennbare materialer er forbrannt eller til slokkearbeid igangsettes. [19,20]

2.1.1 Nedskalering av rombrann

I et fullskala forsøk blir det gjort eksperiment som kan sammenlignes med virkeligheten. Validiteten av et fullskala forsøk er ansett som bedre enn for et småskala forsøk, fordi resultatene lettere kan tilpasses en situasjon utenfor laboratoriet. Fullskala oppsett blir brukt i flere standardiserte test prosedyrer, som for eksempel det nesten 9 m² store rommet i ISO 9705. Problemet med fullskala forsøk er at de ofte er veldig kostbare og tidskrevende å gjennomføre. [21]

Realistiske brannscenario kan også skaleres ned til mindre størrelser. Dette gjør det mulig å utføre forsøkene under kontrollerte forhold i laboratoriet. Noen kompromisser må gjøres ved nedskalering, fordi brannutviklingen vil være noe forskjellig fra et fullskala forsøk. Det er flere faktorer som vil være med å påvirke hvordan brannen utvikler seg:

- Størrelse og plassering av pilotflammen
- Geometri av rommet
- Størrelse og lokasjon av åpninger
- Materialelegenskaper

En forbrenning i et småskala rom vil medføre relativt høye temperaturer og en rask brannutvikling. I en fullskala rombrann med samme pilotflamme vil det være lavere gasstemperaturer, og det vil ta lengre tid å røykfylle rommet. Mindre tilbakestråling til brenselet vil også føre til en mer langsom brannutvikling. [20]



Rommet som er brukt i forsøket er skalert til et tilnærmet $\frac{1}{4}$ ISO rom. For å kunne se på fuktigheten i treverket ville det vært svært vanskelig å oppnå den ønskede fuktigheten i et fullskala forsøk.

Materialutgiftene i forbindelse med selve byggingen av testrommet ville blitt veldig kostbare og tidskrevende. Nedskalert forsøk i denne sammenheng vil være mer gjennomførbare og tidsbesparende.

2.2 Varmetransport

Varmetransport er svært avgjørende for brannspredningen i et rom. I motsetning til en brann i det fri, vil mindre energi tapes fra brannens nærmiljø. Oppvarmede materialer vil antennes lettere enn kalde i kontakt med gnister eller flammer. Varmestråling, varmeledning og konveksjon er tre mekanismer for varmetransport. [19]

2.2.1 Varmestråling

Alle objekter som har en temperatur over det absolutte nullpunkt, altså temperaturer over null grader Kelvin avgir varmestråling [19,22]. Stråling er den mest dominerende varmeoverføringsmekanismen i flammer, omtrent 30% av varmetapet i en brann kommer fra stråling. Mengden varmestråling avhenger i hovedsak av legemets temperatur og emissivitet. Brannspredning via varmestråling vil oppstå dersom man har en så kraftig stråling at den forårsaker en spontanantennelse. Strålingen kan komme fra både flammer og røyklaget, som produseres av brannen. Varmestråling kan beregnes fra Ligning (1). [23]

$$\dot{q}'' = \phi E \quad (1)$$

Hvor:

ϕ Synsfaktor [-]
 E Strålingsintensitet [Wm^{-2}]

Strålingsintensiteten beregnes ved å bruke Ligning (2).

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad (2)$$

Hvor:

ε Emissivitet [-]
 σ Stefan-Boltzmanns konstant: $5,67 \cdot 10^{-8}$ [$Wm^{-2}K^{-4}$]
 T Temperatur [K]



Emissiviteten, ε , er en størrelse som forteller hvor godt et objekt vil stråle og absorbere energi og kan beregnes fra Ligning (3).

$$\varepsilon = 1 - \exp(-KL) \quad (3)$$

Hvor:

K Effektiv emisjonskoeffisient [m^{-1}]

L Flammehøyde [m]

Den effektive emisjonskoeffisienten fra flammer og røyk produsert fra brann i trevirke finnes i Tabell 2.

Tabell 2 Den effektive emisjonskoeffisienten fra flammer og røyk produsert ved brann trevirke [23].

K_{tre}	1,1 [m^{-1}]
-----------	------------------

2.2.2 Varmeledning

Varmeledning er transport av varmeenergi gjennom et legeme, fra et punkt med høyere temperatur til et punkt med lavere temperatur. Det skjer ved at molekyler og atomer med forskjellig kinetisk energi påvirker hverandre. Hvordan dette påvirker hverandre er avhengig av hvilke tilstander materialet opptre i; fast stoff, gass eller væske. [24]

Brannspredning via varmeledning skjer når for eksempel et rør eller lignende leder store mengder energi fra stedet hvor det brenner til andre områder. Brannspredning via bygningsdeler er det vanligste tilfellet. [19]

Varmeledning kan beregnes ved å bruke Ligning (4).

$$\dot{q}'' = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (4)$$

Hvor:

k Spesifikk varmeledningsevne [$Wm^{-1}K^{-1}$]

ΔT Temperaturendring [K]

Δx Posisjonsendring [m]

2.2.3 Konveksjon

Konveksjon er varmeoverføring til eller fra et legeme, hvor væske eller gass strømmer over. Temperaturforskjellen mellom legeme og væsken/gassen vil medføre transport av energi. Konveksjon spiller en svært viktig rolle i en brann. Den er med på å transportere store mengder av kjemisk energi, som blir avgitt i løpet av en brann til omgivelsene i bevegelse av varme gasser. Denne bevegelsen av varme gasser kan enten være naturlig, ved at varm gass stiger og den kalde luften presser den opp, eller det kan være tvungen, ved for eksempel vind. [22]



Konveksjon kan beregnes fra Ligning (5).

$$\dot{q}'' = h\Delta T \quad (5)$$

Hvor:

h Varmeoverførings koeffisient [$Wm^{-2}K^{-1}$]
 ΔT Temperaturrendring [K]

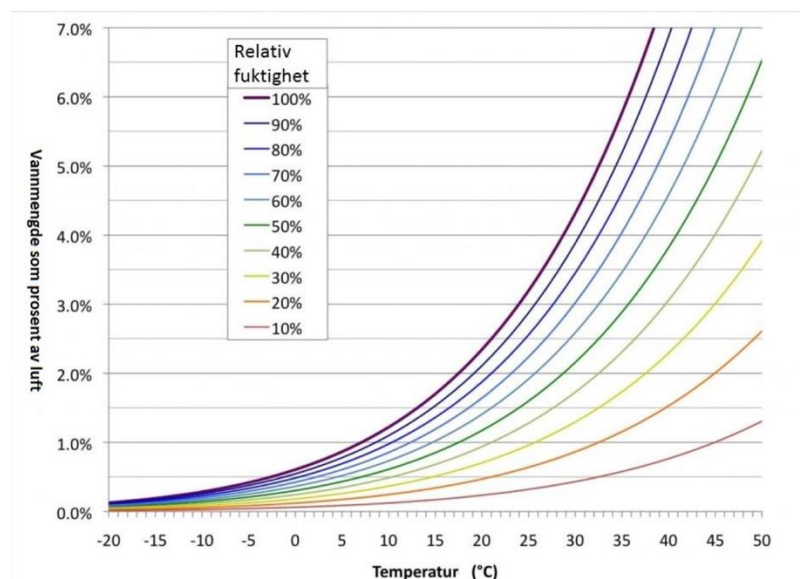
2.2.4 Flyvebrann

Et kjent fenomen for brannspredning mellom bygninger og vegetasjon er flyvebrann. Flyvebrann oppstår ved at gnister og andre gjenstander fra en brann transporteres i luften. I kontakt med andre brennbare materialer kan dette medføre antennelse. Brannen må fortsette å brenne eller gløde etter den har landet på et brennbart materiale, for at det skal utgjøre en risiko for brannspredning.

En av de viktigste faktorene for at flyvebrann sprer seg er vinden og dens hastighet. Vinden er avgjørende for hvordan gnistene blir transportert og hvordan flyvebrannen utvikler seg videre fra hovedbrannen. [25]

2.3 Luftfuktighet

Vannmengden i luften, luftfuktigheten, oppgis som relativ luftfuktighet (RF). RF er mengden vanndamp i luften uttrykt i prosent av maksimum mengde vanndamp som kan finnes seg i luften ved en gitt temperatur. Den relative fuktigheten er avhengig av temperaturen. Det vil si at jo varmere luften er, desto mer vann kan den holde på. Ved en relativ fuktighet på 100 % er luften mettet, som vil si at den inneholder all den vanndampen den klarer å holde på. Det vil si at luften er mer fuktig ved en RF på 100 %, enn ved en RF på for eksempel 40 %, se Figur 2. [25]



Figur 2 Grafisk fremstilling av hvordan den relative fuktigheten endrer seg med temperaturen [25].

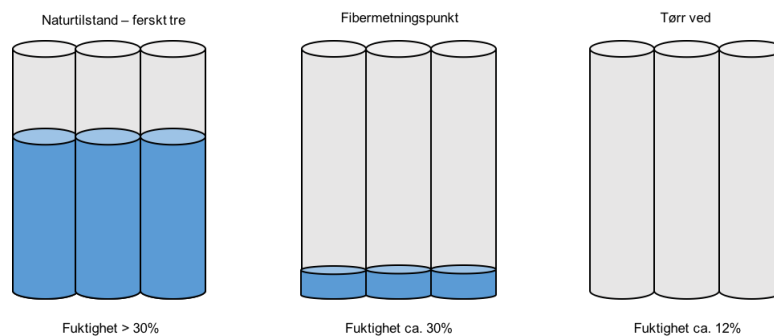
Luftfuktigheten innendørs vil være avhengig av luftfuktigheten ute. På grunn av aktiviteter inne som for eksempel matlaging, pusting og svetting er det mer sannsynlig at luftfuktigheten er noe høyere innendørs. Vintermånedene, hvor luftfuktigheten i utgangspunktet er lav, kan vinden spille en stor rolle. Den kan bidra til å øke luftstrømmen inne i husene og de interne kildene som i utgangspunktet skal føre til en økning i luftfuktigheten innendørs vil ikke lengre bidra. [16]

2.4 Trevirke

2.4.1 Fuktighet i trevirke

Trevirke er et hygroskopisk materiale, som vil si at det opptar og avgir fuktighet avhengig av luftens RF. Dette innebærer at det foregår en kontinuerlig endring av vanninnholdet, og fuktigheten i trevirke vil derfor endres over tid. Temperatur, direkte sollys og vind er faktorer som kan være med å påvirke trevirkets fuktighet [25,26].

Vannet i trevirke lagres enten i cellehulerommene (fritt vann) eller i celleveggene (bundet vann). I tørkeprosessen skal det frie vannet og deler av det bundne vannet fjernes. Det frie vannet fjernes først, fuktigheten i trevirke er da ca. 28-30 %, og har da kommet til det som kalles for fibermetningspunkt, se Figur 3. Når trevirke kommer under dette punktet er det svært interessant, det er da de fleste mekaniske og fysikalske egenskapene endrer seg betydelig. Ved fuktighet over fibermetningspunktet anses de fleste egenskapene som konstante. [26, 27]



Figur 3 Naturtilstand, fibermetningspunkt og tørr ved for trevirke.

Tørking etter fibermetningspunktet vil pågå inntil trevirke har innstilt seg på en likevektsfuktighet (LVF). LVF kan beregnes fra Ligning (6).

$$LVF = \frac{1800}{W} \left\{ \frac{Kh}{1-Kh} + \frac{K_1Kh + 2K_1K_2K^2h^2}{1+K_1Kh + K_1K_2K^2h^2} \right\} [\%] \quad (6)$$

Hvor:

$$W = 349 + 1,29T_c + 0,0135T_c^2$$

$$K = 0,805 + 0,000736T_c - 0,00000273T_c^2$$

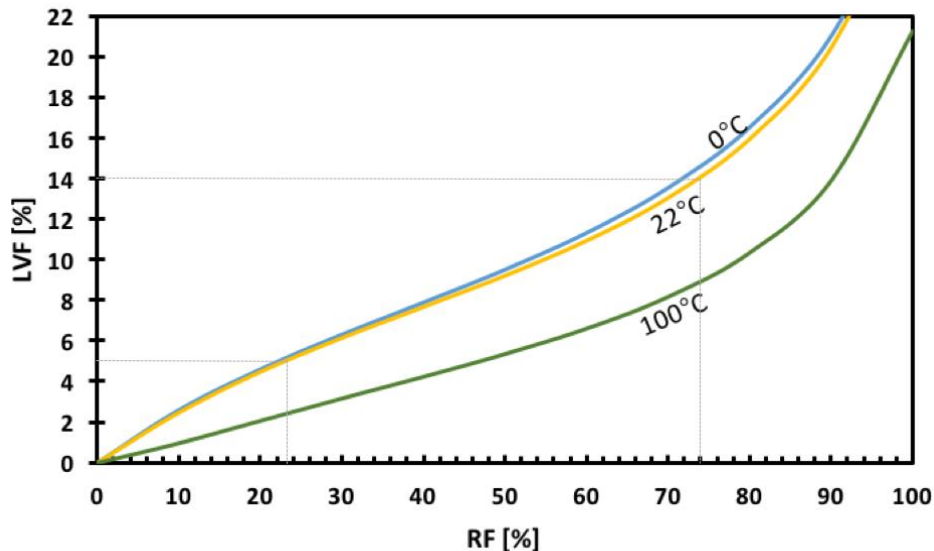
$$K_1 = 6,27 - 0,00938T_c - 0,000303T_c^2$$

$$K_2 = 1,91 + 0,0407T_c - 0,000293T_c^2$$



T_c [°C] er temperaturen og h er den relative fuktigheten som fraksjon av vann i luften. [28]

Figur 4 viser den beregnede likevektsfuktigheten, ved bruk av Ligning (6), gitt som funksjon av relativ fuktighet, ved 0, 22 og 100 °C. Ved en relativ fuktighet på 23 % og en temperatur på 22 °C blir likevektsfuktigheten 4,5 %. Ved samme temperatur og en RF på 74 % vil likevektsfuktigheten i trevirke innstille seg på 14 %.



Figur 4 Likevektsfuktighet som funksjon av relativ fuktighet, ved 0, 22 og 100 °C.

Det tar imidlertid lang tid for trevirke å innstille seg på en LVF. Ved vanlig romtemperatur vil det ta flere uker før trefuktigheten nærmer seg det aktuelle likevektsfuktighetsnivået. Dette vil være avhengig av temperatur, lufthastighet på trevirkets overflate og trevirkets densitet.

Dersom trevirke på et tidligere tidspunkt har vært utsatt for høye temperaturer, vil LVF være lavere enn for treverk som ikke har vært utsatt for dette. Dette fenomenet kalles hysteres og fører til at trefuktigheten varierer mindre ved vekslende luftfuktighet. [26, 27]

2.4.1.1 Fuktmåler

Det er mulig å bruke en elektrisk fuktmåler for å finne fuktigheten i trevirke. For fuktighetsinnhold mellom 6 og 28 % skal fuktmåleren være grei og rask å benytte. Nøyaktigheten for de beste instrumentene er vanligvis ± 2 %, som i utgangspunktet er godt nok for praktisk bruk.

Fuktmåleren er vanligvis bygget opp av to elektroder som trykkes inn i trevirke. Det som måles er trevirkets evne til å lede elektrisk strøm mellom de to elektrodene. Ledningsevnen vil være større ved økt fuktighet. Trestrukturen kan også påvirke resultatene og det er derfor viktig å gjennomføre flere målinger og ta et gjennomsnitt [27].



2.4.1.2 Beregning av fuktighet i trevirke, ovn-tørkemetoden

En mer nøyaktig metode for å finne fuktigheten i trevirke er å bruke beregninger. Det er flere ulike metoder, en av dem er "ovn-tørkemetoden", som utføres etter NS-EN 13183-1 [29]:

- Massen av teststykke på det tidspunktet fuktigheten skal beregnes
- Teststykket tørkes ved en temperatur på 103 ± 2 °C, til masseforskjellen mellom to veiinger er minimal

Fuktigheten i trevirke kan videre beregnes ved bruk av Ligning (7).

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 \quad (7)$$

Hvor:

- ω Fuktighetsinnholdet i trevirke [%]
- m_1 Massen av teststykket før tørking [g]
- m_0 Massen av teststykket etter tørking [g]

2.4.2 Brannegenskaper

Sammenlignet med andre materialer har trevirke en svært lav varmeledningsevne. Varmeledningsevnen vil stige lineært med vanninnholdet i trevirke og 0,25 % per °C temperaturøkning.

Forbrenning av trevirke består hovedsakelig av 4 prosesser:

1. Fordamping av fuktighetsinnhold
2. Pyrolyse
3. Antennelse av gassblanding
4. Forbrenning av overflaten

Hvor mye fuktighet det er i trevirke vil derfor påvirke hvor lang tid det vil ta til antennelse. Når det blir utsatt for varmeeksponering vil energien først brukes til å fordampe vannet istedenfor å varme opp trevirke. Når fuktigheten har fordampet starter selve pyrolyseringen. Pyrolyse er termisk nedbrytning av trevirke, som skjer når det tilføres energi i form av varme. Pyrolyseringen medfører at trevirke spaltes i mindre komponenter, som så frigjøres som brennbare gasser. Disse gassene vil videre antennes.



I Tabell 3 er det presentert hva som skjer under forbrenning av trevirke ved ulike temperaturer. [26]

Tabell 3 Hendelser ved oppvarming av trevirket.

Temperatur	Hendelse
<95 °C	Spalting av trevirket er dominerende
>95 °C	Svak forkulling opptrer
>100 °C	Pyrolysen starter
150 °C	Brunfarge på trevirket
230 °C	Flammepunkt (antennes i kontakt ved tennkilde)
260 °C	Tennpunkt (rask temperaturstigning, brenner uten tilførsel av tennkilde)
300 °C	Selvantennelig, tjæredannelse
320-350 °C	Maksimum energiutvikling og gassutvikling

Furu pilotantennes ved en varmestrålingsfluks på 5 kW/m² ved flammeeksponering direkte mot overflaten og 27 kW/m² ved spontanantennelse. [25]

Innbrenningshastigheten vil ved forbrenning av trevirke være tidsavhengig. Det vil etterhvert dannes et forkullende sjikt, som vil beskytte det uberørte trevirke, som ligger bak. Dette vil føre til at den videre forbrenningsprosessen går saktere enn i starten. Det forkullende sjiktet har mye dårligere varmeledningsevne enn trevirket og vil påvirke temperaturen i den videre forbrenningen. [26]

2.4.3 Forbrenningsvarme

Alle forbrenningsreaksjoner skjer ved at det frigjøres energi. Dette kan uttrykkes ved å definere forbrenningsvarmen (ΔH_c), som er den totale mengden av frigitt varme når et brensel oksiderer fullstendig. [23]

Forbrenningsvarmen til tre uten vanninnhold er gitt i Tabell 4.

Tabell 4 Forbrenningsvarmen til tre uten vanninnhold [30].

$\Delta H_{c,tre\ uten\ vanninnhold}$	20,0 [kJ/g]
---------------------------------------	-------------

$\Delta H_{c,tre\ uten\ vanninnhold}$ kan benyttes til å finne forbrenningsvarmen til tre, ved ulike fuktighetsinnhold i trevirke, se Ligning (8).

$$\Delta H_{c,tre} = (1 - FMC) * \Delta H_{c,tre\ uten\ vanninnhold} \quad (8)$$

Hvor:

FMC Fuktighetsinnhold i trevirke [fraksjon]



2.4.4 Massetapsrate

Massetapsrate er når et fast stoff eller en væske fordampes og brenner. Det er uttrykt som massestrøm per tidsenhet og kan beregnes fra Ligning (9). [20, 23]

$$\dot{m} = \left(\frac{\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L''}{L_V} \right) \cdot A_f \quad (9)$$

Hvor:

\dot{m}	Massetapsrate [kg/s]
\dot{Q}_F''	Varmefluks fra flamme til materialet [kW/m ²]
\dot{Q}_E''	Varmefluks fra eksterne kilder [kW/m ²]
\dot{Q}_L''	Varmetap fra materialet til omgivelsene [kW/m ²]
L_V	Fordampningsvarme [J/kg]
A_f	Brannens areal [m ²]

2.4.5 Energiproduksjon

Når et objekt brenner vil det avgi en viss mengde energi per tidsenhet, og denne oppgis vanligvis med enheten kW og betegnelsen \dot{Q}_c . For de fleste materialer vil energiproduksjonen endres med tiden og kan beregnes fra Ligning (10).

$$\dot{Q}_c = \chi \Delta H_c \dot{m} \quad (10)$$

Hvor:

χ	Forbrenningseffektivitet [-]
ΔH_c	Forbrenningsvarme [kJg ⁻¹]
\dot{m}	Massetapsrate [gs ⁻¹]

For å finne netto energi produsert i trevirke må en først finne ut hvor mye energi som går til å varme opp vannet. Den kan finnes ut i fra Ligning (11).

$$\dot{Q}_w = FMC \dot{m} (\Delta H_{vap} + c_{p,v} (T - T_{0,tre})) \quad (11)$$

Hvor:

FMC	Fuktinnhold i trevirke [fraksjon]
\dot{m}	Massetapsrate [gs ⁻¹]
ΔH_{vap}	Fordampningsvarme vann [Jg ⁻¹]
$c_{p,v}$	Varmekapasitet vanddamp [Jg ⁻¹ K ⁻¹]
T	Temperatur [°C]
$T_{0,tre}$	Starttemperatur i trevirke [°C]

Netto energiproduksjon kan nå beregnes fra Ligning (12).

$$\dot{Q}_{c,net} = \dot{Q}_c - \dot{Q}_w \quad (12)$$



2.4.6 Overtenning

Luftstrømmen inn til et rom kan beregnes ved hjelp av Ligning (13).

$$\dot{m}_a = 0,5A_0\sqrt{H_0} \quad (13)$$

Hvor:

A_0 Arealet av åpningen [m]

H_0 Høyden av åpningen [m]

Den maksimale mengden brensel som kan oppnå fullstendig forbrenning i rommet ved denne luftmengden, er kjent som den støkiometriske mengden. For de fleste typer brensel er energiproduksjon per masse luft forbrukt en konstant tilnærmet lik 3000 kJkg^{-1} . På bakgrunn av dette kan den støkiometriske energiproduksjonen, eller den energiproduksjonen som må oppnås for at det skal oppstå overtenning, beregnes fra Ligning (14). [22]

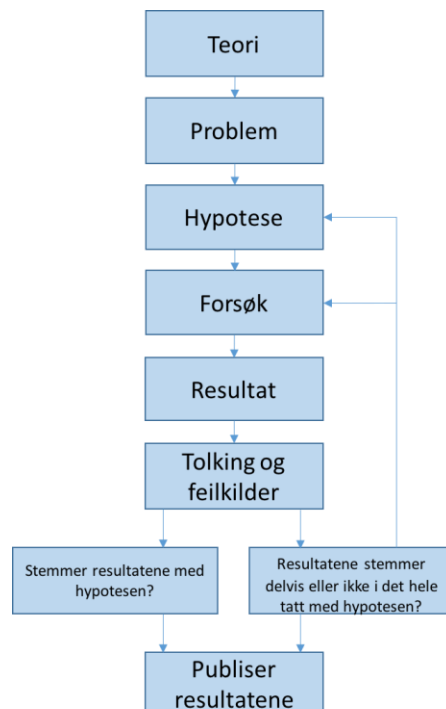
$$\dot{Q}_{FO} = 3000\dot{m}_a \quad (14)$$

Hvor:

\dot{m}_a Luftstrøm [kgs^{-1}]

2.5 Vitenskapelig metode

Vitenskapelig metode er en prosess som gjennom systematisk arbeid kan frembringe nye kunnskaper og gi en bedre forståelse. Figur 5 gir en oversikt over hvordan en typisk forskningsprosess kan se ut.





Figur 5 Prosess ved gjennomføring av forsøk. [31]

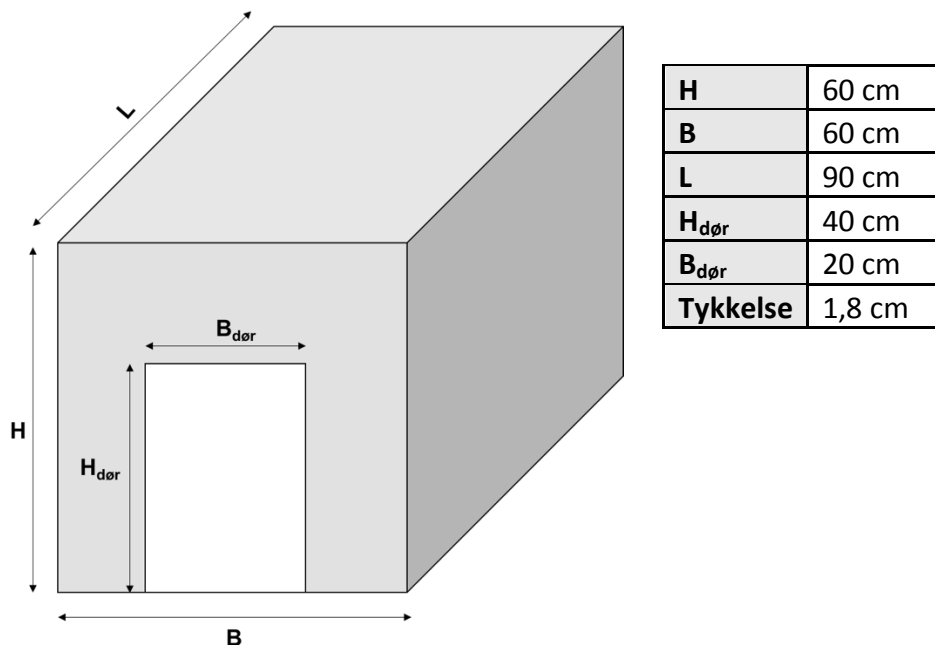
Ved forskning knytter det seg vitenskapelig usikkerhet til alle forsøk og observasjoner. Det er derfor viktig at man ikke trekker bastante beslutninger på tynt grunnlag, husker å sjekke kilder og er kritisk til eget arbeid. Videre er det viktig å teste flere parametere og prøve å kontrollere disse. Det er også viktig å være observant på at måleresultatene kan bli påvirket av ytre faktorer. [31]

3 Forsøk

Dette kapitlet vil gi en generell beskrivelse av hvordan forsøkene er gjennomført. I Vedlegg A: Instrumenter, finnes en oversikt over alt utstyret som er blitt benyttet til klargjøring av materiell og under forsøket.

3.1 Romdimensjoner

Det ble bygget 12 tilnærmet $\frac{1}{4}$ ISO rom av limtreplater av furu (1,8 cm tykkelse). To av forsøkene ble ikke tatt med i resultatene på grunn av manglende data. Resultatdelen vil derfor kun fremstille 10 av forsøkene. Dimensjonen av rommet er presentert i Figur 6. For en mer detaljert beskrivelse av hvordan rommet ble bygget, se Vedlegg B: Klargjøring av $\frac{1}{4}$ ISO rom.



Figur 6 Romdimensjoner for rommet.

3.2 Klargjøring av materiell

Alle rommene gikk først gjennom en tørkeprosess. Dette for at alle skulle ha et mest mulig likt utgangspunkt. Tørkeprosessen foregikk i tørkerom (konstruktør: Torgrim Log). Tørkerommet ble bygget av isopor med en vifte som ble plassert i åpningen, slik at den blåste varm luft inn i rommet. Viften varmet opp rommet til ca. 40 °C og ble stående på i ca. 48 timer, før rommene ble tatt ut. For en mer detaljert beskrivelse av denne prosessen, se Vedlegg C: Tørkeprosess.

Figur 7 viser tørkerommet med plassering av vifte.



Figur 7 Tørkerom med plassering av vifte (konstruktør: Torgrim Log).

3.2.1 Tørt rom

Rommene som under forsøket skulle være tørre, ble etter tørkeprosessen pakket inn i plast. Mellom plasten og trevirke ble det lagt isoporbiter, dette for å få luft mellom plasten og treet. Det ble også plassert en USB-vifte inni rommet, for å få sirkulasjon i luften.

Rommene som skulle være ekstra tørre, ble det i tillegg til USB-viften lagt inn litiumklorid [32]. Rommene ble plassert på en bit med isopor for å unngå direkte bakkekontakt, se Figur G.5, Vedlegg G: Bilder fra forsøk.

3.2.2 Fuktig rom

Rommene som under forsøket skulle være fuktige, ble etter tørkeprosessen plassert i et fuktkammer (konstruktør: Arjen Kraaijeveld), se Figur 8. I fuktkammeret ble det plassert en fuktmaskin og to USB-vifter. Fuktmaskinen ble innstilt på 80 % luftfuktighet og ble stående på i minst 3 dager før rommene ble tatt ut. For en mer detaljert beskrivelse av fuktprosessen, se Vedlegg D: Fuktprosess.

For å få rommene enda fuktigere, ble det benyttet en stor trekasse. Bunnen av kassen ble fylt med vann og rommet ble plassert over vannkanten. En USB-vifte ble plassert i kassen og et lokk ble lagt over.

Figur 8 viser fuktkammeret og fuktkassen som ble benyttet i forberedelsene til forsøket.

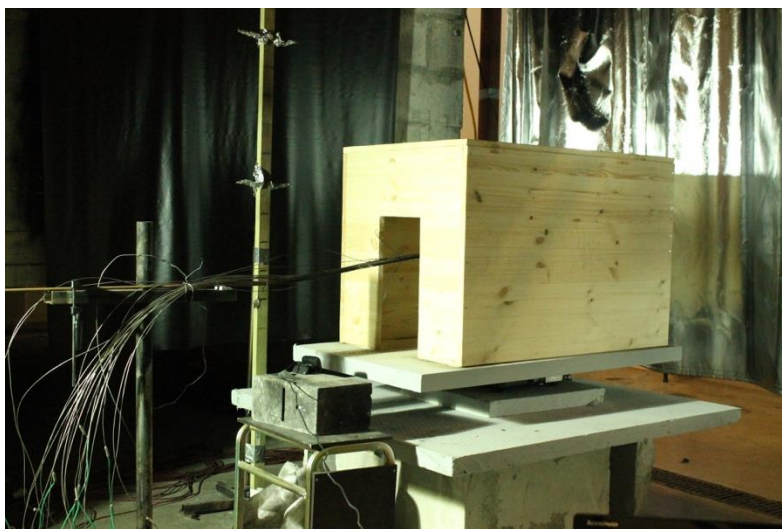


Figur 8 Bildet til venstre viser fuktkammeret som ble benyttet (konstruktør: Arjen Kraaijeveld). Bildet til høyre viser fuktkassen.

3.3 Forsøksoppsett

3.3.1 Vekt og bunnplate

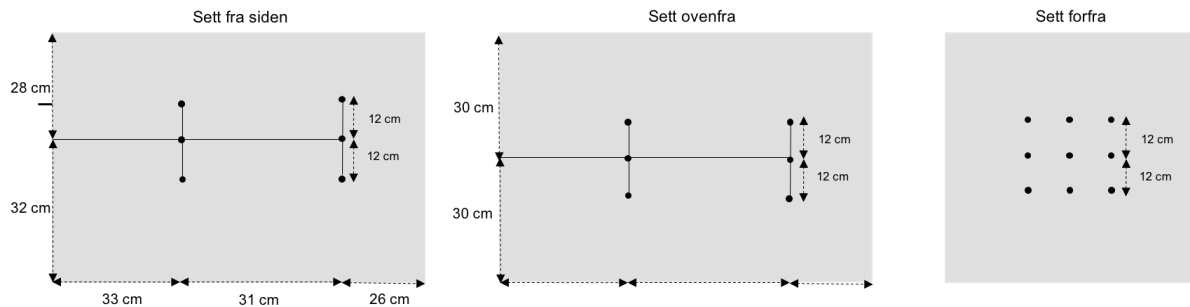
Under forsøkene ble det benyttet to vekter. Den ene vekten målte massetapet av rommet (vekt A) og den andre vekten målte massetapet av metanolen (vekt B). Mellom vekten og rommet ble det plassert en bunnplate for å forhindre branneksponering på vekten. For en mer detaljert beskrivelse av tilskjæringen av bunnplaten, se Vedlegg E: Bunnplate. Figur 9 viser forsøksoppsettet like før antennelse av pilotflamme.



Figur 9 Forsøksoppsett. Rommet er klar til forsøk.

3.3.2 Termoelement

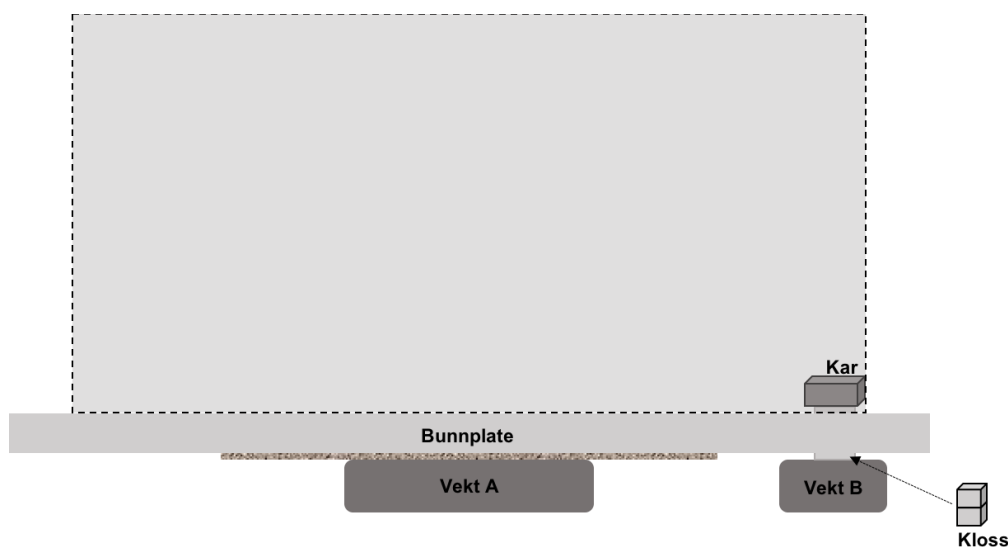
Det ble benyttet totalt 22 termoelement (type K, 1,5 mm i diameter) i forsøket. 18 termoelement ble plassert i ISO rommet. Disse var delt i to grupper, med ni stk. termoelementer i hver gruppe, se Figur 10. Det ble også plassert 2 termoelement i døråpningen. Se Figur G.3, Vedlegg G: Bilder fra forsøk, for bilde av termoelementene. I resultatdelen er det kun benyttet et gjennomsnitt av 12 termoelement (de som var nærmest røyklaget).



Figur 10 Plassering av termoelement.

3.3.3 Pilotflamme

Det ble benyttet et 9.0cm * 9.0cm * 4.5cm kar, som ble fylt med 120 gram metanol (for de to fuktigste rommene ble det benyttet 200 gram), som tilsvarer en effekt på ca. 2 kW. For beregning av effekten, se Vedlegg H: Effekt pilotflamme. Metanol ble benyttet på grunn av den blålige flammen som avgis ved forbrenning. Det var dermed lett å skille mellom metanolflammen og antennelse i trevirke. For å kunne plassere karet med metanol lengst mulig inn i hjørnet av rommet, ble det plassert en kloss mellom karet og vekten. Klossen ble plassert i et hull som var skjært ut av bunnplaten, se Figur 11.



Figur 11 Forsøksoppsettet viser plassering av karet på vekt B, sett fra siden.

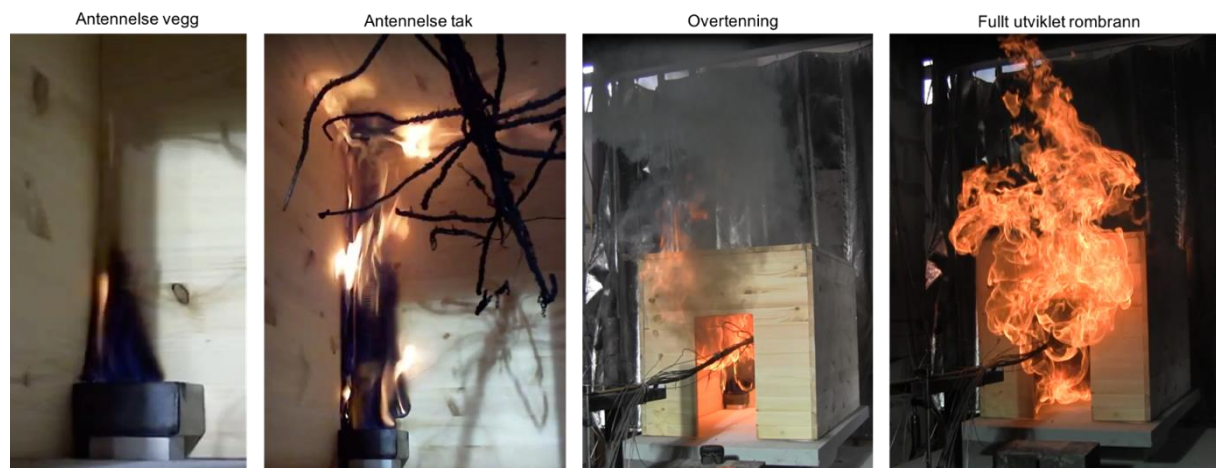
3.3.4 Video

Det ble benyttet to videokamera under forsøket. Et videokamera ble plassert i god avstand fra forsøket, slik at det var mulig å observere når det ble overtenning og når alle flater i rommet var antent.

I åpningen av ISO rommet ble det plassert et web kamera. Dette ble benyttet for å observere antennelse i vegg og tak. Ved overtenning ble web kameraet fjernet og plassert slik at det var mulig å observere flammene utenfor rommet. Kriteriene i Tabell 5 ble brukt til å fastslå; antennelse i vegg, antennelse i tak, overtenning og fullt utviklet rombrann. Figur 12 gir et visuelt bilde av kriteriene.

Tabell 5 Kriterier for å fastslå; antennelse i vegg, antennelse i tak, overtenning og fullt utviklet rombrann.

Hendelse	Kriterier
Antennelse i vegg	Observasjon av kontinuerlig oransje flamme
Antennelse i tak	Kontinuerlig flamme som strekker seg utover taket
Overtenning	Stikkflammer ut av åpningen
Fullt utviklet rombrann	Alle overflater er antent



Figur 12 Kriteriene som er beskrevet i Tabell 5. Bilder tatt fra forsøk med 4,2 vekt% fuktinnhold.

3.4 Gjennomføring

Gjennomføringen av forsøkene ble utført på brannlaben ved Høgskolen Stord/Haugesund under et avtrekk. Før forsøket ble igangsatt, sto viften på i noen minutter før rommet ble tatt inn. Dette ble gjort for å få mest mulig like forhold under alle forsøkene.

Forsøkene ble gjennomført på fire forskjellige dager, hvor det ble gjort tre forsøk på en dag; et fuktig, et middels og et tørt forsøk. Denne fordelingen var bevisst for å unngå at temperatur og luftfuktighet skulle være en usikker variabel.

Før gjennomføringen av forsøkene ble romtemperatur, luftfuktigheten i rommet og fuktighetsinnholdet i treet målt. Fuktighetsinnholdet i treet ble målt ved å bruke en



Det ble utført 10 fuktmålinger, hvor gjennomsnittet av disse var representativt. På grunn av usikkerheten som ligger bak disse målingene, ble de ikke benyttet i resultatet, men likevel utført som en sikkerhet.

Før forsøket startet måtte brannalarmen skrus av. Da termoelementene og vektene var plassert, ble følgende prosedyre fulgt punktvis:

- Tarer vekt A og B
- Legg bunnplaten på vekt A
- Tarer vekt A
- Sett klossen på vekt B
- Tarer vekt B
- Sett karet på klossen
- Tarer vekten igjen
- Fyll opp karet med 120 gram metanol
- Sett varsomt rommet på bunnplaten, unngå å velte karet med metanol
- Skyv forsiktig karet på plass inn i hjørnet, med for eksempel en lang stav
- Sørg for at alle måleinstrumenter er stilt inn rett og fungerer som de skal
- Start videokamera og webkamera
- Tenn på pilotflammen
- Juster viften etter røykproduksjon
- Når forsøket skal avsluttes; slukk flammene

Tabell 6 gir en oversikt over hvilken dato forsøkene ble utført, fuktigheten og temperaturen i rommet og den relative fuktigheten på brannlaben under forsøkene.

Tabell 6 Dato, fuktinnhold i rommene, romtemperatur og relativ fuktighet på brannlaben under forsøkene.

Dato	Fuktighet	Romtemperatur	Relativ fuktighet
02.02.16	9,3 vekt%	16 °C	54,2 %
02.02.16	5,1 vekt%	17 °C	54,0 %
09.02.16	12,1 vekt%	19 °C	52,9 %
09.02.16	4,4 vekt%	17 °C	52,0 %
09.02.16	5,0 vekt%	17 °C	53,1 %
23.02.16	15,1 vekt%	15 °C	39,8 %
23.02.16	8,4 vekt%	13 °C	42,9 %
11.03.16	9,6 vekt%	17 °C	32,3 %
11.03.16	13,5 vekt%	16 °C	31,3 %
11.03.16	4,2 vekt%	20 °C	34,6 %



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



3.5 Referanse dør

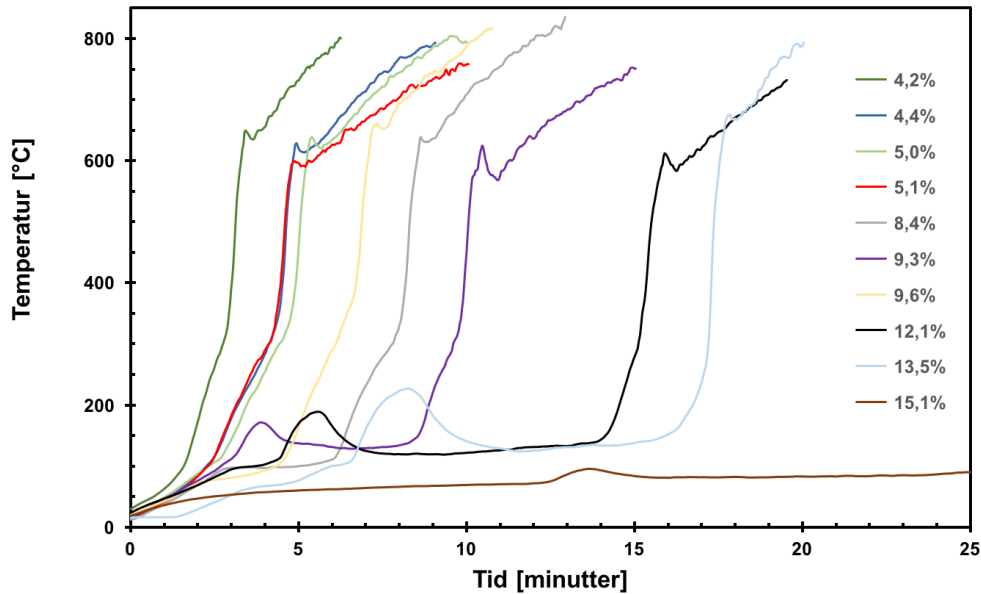
Døren som skjæres ut av rommet brukes som et referansepunkt for å finne fuktinnholdet i rommet. Før forsøkene skulle gjennomføres, ble vekten av døren notert og tatt vare på. Det var viktig å være nøye med hvilken dør som tilhørte riktig rom (noter forsøksnummer og dato). For å tørke døren og regne ut fuktigheten, gikk dørene gjennom en tørkeprosess; ovntørkemethoden. Temperaturen i ovnen var på ca. 103 °C. Døren ble oppbevart i ovnen til massen hadde stabilisert seg (alt vannet var tørket ut). Ved bruk av Ligning (7) kunne fuktigheten beregnes.



4 Resultat

4.1 Temperatur

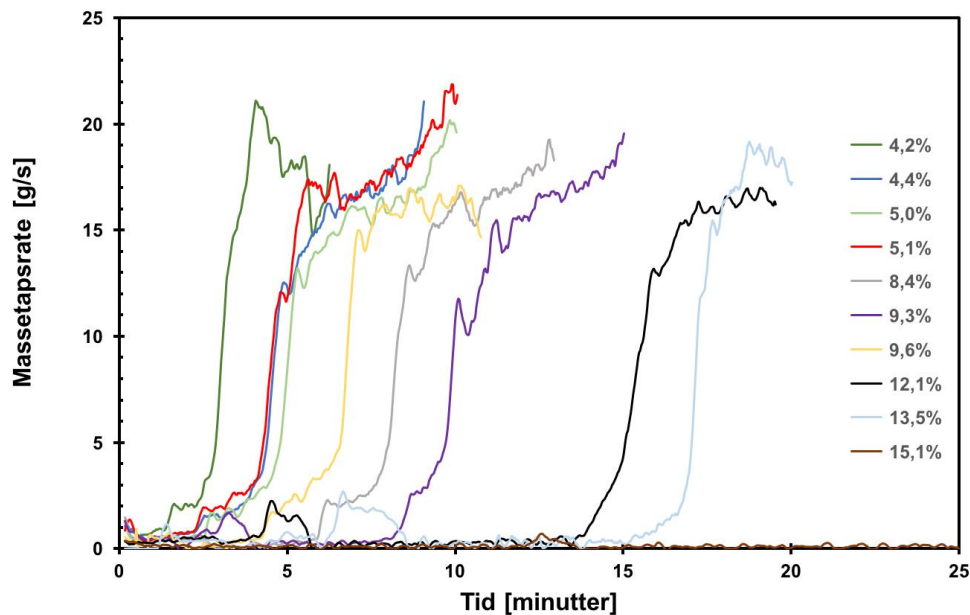
Figur 13 viser registrerte temperaturer fra de ulike forsøkene som funksjon av tid. De ulike grafene representerer hver sin fuktighet.



Figur 13 Registrert temperatur som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.

4.2 Massetapsrate

Figur 14 representerer registrert massetapsrate som funksjon av tid.



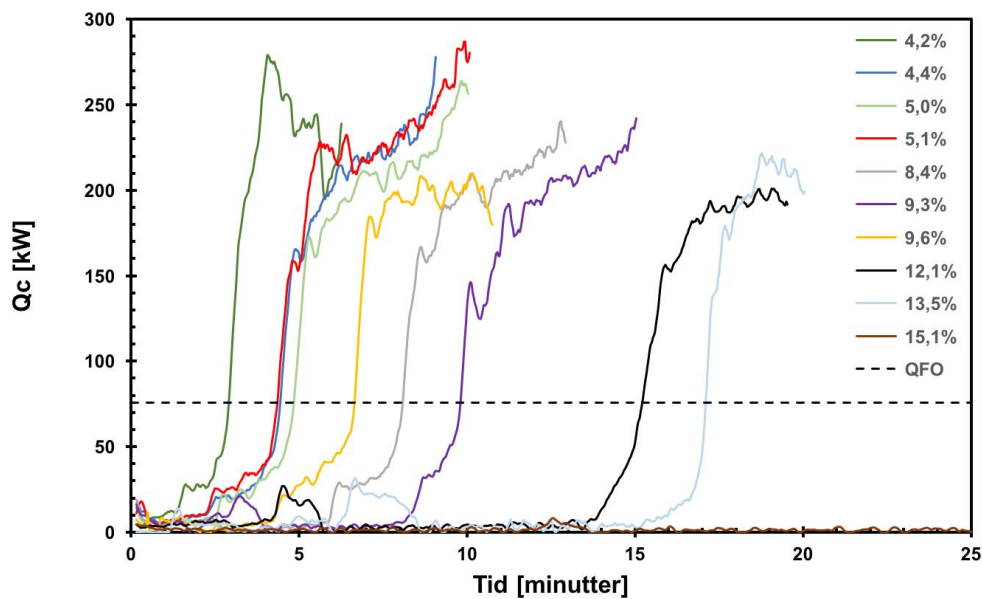
Figur 14 Registrert massetapsrate som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.



4.3 Energiproduksjon

Figur 15 representerer registrert energiproduksjon som funksjon av tid. Energiproduksjonen er beregnet fra Ligning (12), hvor forbrenningseffektiviteten er satt til 0,7 og $\Delta H_{c,tre}$ er beregnet fra Ligning (8). Ligning (8) tar hensyn til fuktinnhold i treet og tar utgangspunkt i $\Delta H_{c,tre}$ uten vanninnhold (hentet fra Tabell 4).

Den stiplede linjen (\dot{Q}_{FO}) er beregnet fra Ligning (14), og representerer energiproduksjonen som må oppnås for at det skal oppstå overtenning (teoretisk sett).



Figur 15 Energiproduksjon som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.



4.4 Tid til overtenning

Tabell 7 gir en oversikt over tid til overtenning observert ut i fra:

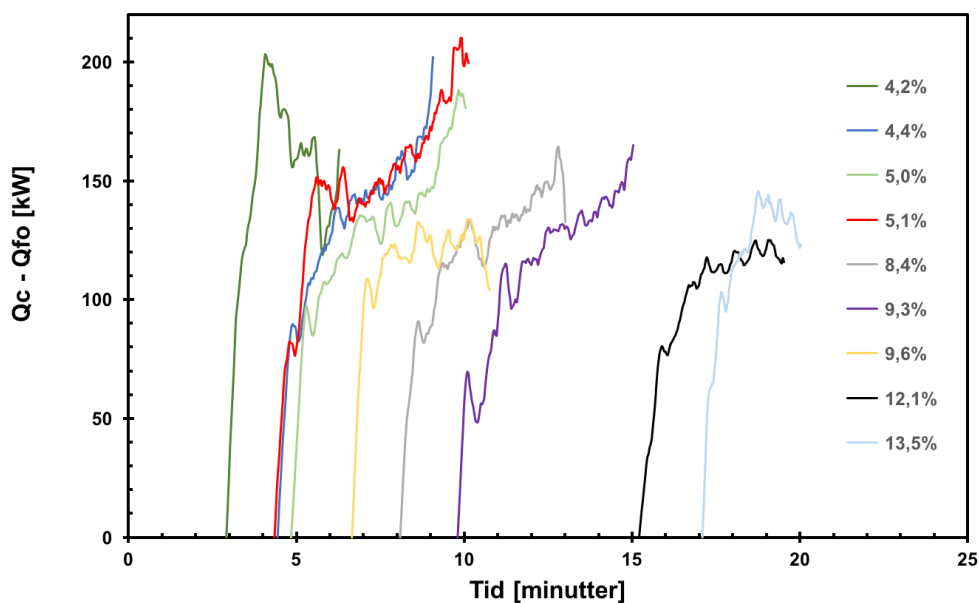
- Kamera; når stikkflammer observeres ut av åpningen
- Registrerte temperaturmålinger ved 550 °C
- Når energiproduksjonen er tilstrekkelig til å oppnå overtenning ($\dot{Q}_c > \dot{Q}_{FO}$).

Verdiene fra Tabell 7 er representert som funksjon av fuktighet i Figur 17.

Tabell 7 Oversikt over tid til overtenning; når stikkflammer observeres ut av åpningen, temperaturen når 550 °C og $\dot{Q}_c > \dot{Q}_{FO}$.

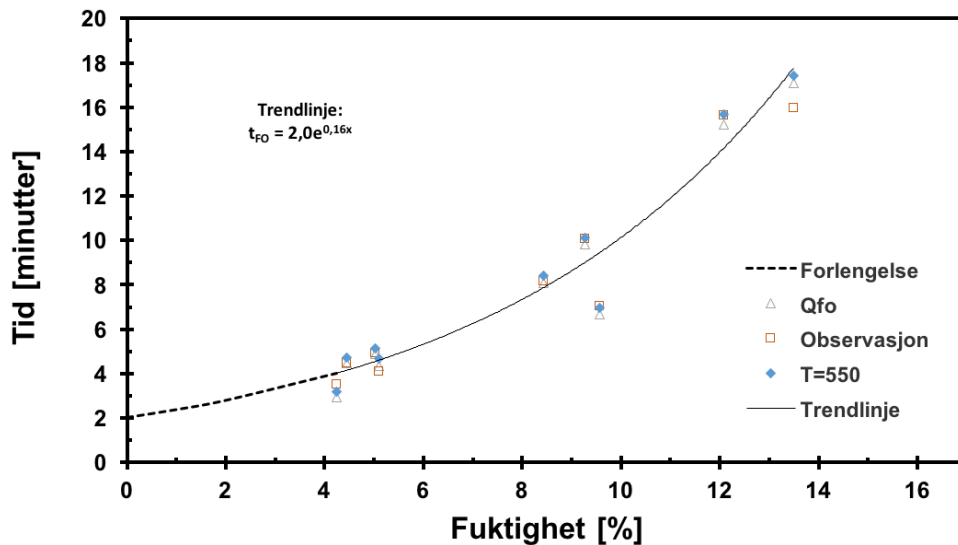
Fuktighet	Observasjon av stikkflammer [minutt:sekund]	550 °C [minutt:sekund]	$\dot{Q}_c > \dot{Q}_{FO}$ [minutt:sekund]
4,2 vekt%	3:30	3:12	2:56
4,4 vekt%	4:28	4:42	4:28
5,0 vekt%	4:56	5:08	4:52
5,1 vekt%	4:05	4:41	4:22
8,4 vekt%	8:10	8:24	8:06
9,3 vekt%	10:04	10:08	9:50
9,6 vekt%	7:02	6:58	6:40
12,1 vekt%	15:38	15:40	15:14
13,5 vekt%	15:57	17:26	17:06
15,1 vekt%	-	-	-

Figur 16 Viser overskuddet av varmeproduksjon som funksjon av tid.



Figur 16 Overskudd av varmeproduksjon, $\dot{Q}_c > \dot{Q}_{FO}$ som funksjon av tid. Hver graf representerer en fuktighet.

Figur 17 representerer tid til overtenning som funksjon av fuktighet. De ulike punktene representerer tid til overtenning sett fra kamera, når temperaturen var nådd 550 °C og når energiproduksjonen var tilstrekkelig til å oppnå overtenning. En eksponentiell funksjon ble tilpasset alle kriteriene for tid til overtenning og ga en god tilnærming for alle punktene.



Figur 17 Tid til overtenning som funksjon av fuktinnhold [33].

4.5 Brannspredning

Tabell 8 gir en oversikt over brannspredningen som ble observert fra videokamera for de ulike forsøkene. Kriteriene for brannspredning er presentert i Tabell 5.

Tabell 8 Oversikt over observert brannspredning i de ulike forsøkene, basert på observasjoner.

Fuktighet	Antennelse vegg [minutt:sekund]	Antennelse tak [minutt:sekund]	Overtenning [minutt:sekund]	Fullt utviklet rombrann [minutt:sekund]
4,2 vekt%	00:47	01:53	03:30	03:49
4,4 vekt%	00:33	02:13	04:28	04:51
5,0 vekt%	00:34	02:33	04:56	05:16
5,1 vekt%	00:35	02:09	04:05	04:40
8,4 vekt%	00:52	05:54	08:10	08:37
9,3 vekt%	00:53	03:04 (08:24)*	10:04	11:07
9,6 vekt%	00:54	04:35	07:02	07:49
12,1 vekt%	01:05	04:40 (14:09)*	15:38	16:23
13,5 vekt%	00:42	05:10 (14:18)*	15:57	16:24
15,1 vekt%	12:18	34:44	-	-

*Tiden i parentes representerer andre gang antennelse i tak oppstod.



Tabell 9 gir en oversikt over forsøkene som hadde antennelse i tak to ganger, og viser varigheten på antennelse i tak første gang og maks temperatur i denne fasen.

Tabell 9 Tid fra antennelse i tak første gang til forbrenningen går ned og maks temperatur.

Fuktighet	Antennelse tak [minutt:sekund]	T_{maks}
9,3 vekt%	00:57	171 °C
12,1 vekt%	01:23	189 °C
13,5 vekt%	02:21	227 °C
15,1 vekt%	02:59	254 °C



5 Diskusjon

5.1 Temperatur og massetapsrate

Estimert tid til overtenning basert på temperatur (550 °C) og observasjon av stikkflammer ut av åpning stemmer godt. Tid til overtenning øker vesentlig med fuktinnholdet i trevirke for ¼ skala. Det er all grunn til å anta at det samme vil være tilfellet i fullskala brann, ved en relativt liten startbrann.

Ved å redusere fuktinnholdet i trerommet fra 9,3 vekt% (tilsvarende luft med 50 % relativ fuktighet (RF)) til 4,2 vekt% (tilsvarende luft med 20 % RF) ble tiden til overtenning redusert fra 10 minutter til 3 minutter. Ved 13,5 vekt% (tilsvarende luft med 80 % RF) fuktinnhold var tiden til overtenning hele 17 minutter. Dette tilsvarende en økning i tid til overtenning som er over fem ganger så stor, sammenlignet med rommet med 4,2 vekt% fuktinnhold. I tillegg ble det observert at jo tørrere rommet var, desto mer og større flammer oppsto utenfor brannrommet i tiden etter overtenning. Dette vil ha stor betydning for brannvesenet med tanke på kontroll av selve brannen og videre brannspredning.

Ved å se nærmere på hver enkelt temperaturgraf, ser man at alle grafene viser den samme utviklingen/trenden når antennelsen i trevirke inntreffer og rommene går til overtenning. En rask temperaturøkning, som representeres av en bratt kurve. Videre synker temperaturen ca. 10-40 °C, før den gradvis fortsetter å øke. Temperaturfallet kan forklares av den raske temperaturøkningen, som fører til at vannet i trevirke fordampes. Energien brukes til å fordampe vannet og en liten nedgang i temperatur oppstår. Denne prosessen skjer nokså raskt på grunn av de høye temperaturene i brannrommet. Når alt vannet har fordampet, fortsetter temperaturen gradvis å øke igjen. Temperaturøkningen i tiden etter overtenning er nokså lik for alle forsøkene. Dette kan forklares av at alt vannet har fordampet på dette tidspunktet og rommene har herfra det samme utgangspunktet.

Grafene for temperatur og massetapsrate, som representerer 9,3 vekt%, 12,1 vekt% og 13,5 vekt% har en "hump" tidlig i temperaturforløpet. Ved å se nærmere på "humpene", ser man at jo mer fuktinnhold det er i rommene, desto større og mer langstrakte blir "humpene" (se Tabell 9). Observasjoner fra videoene viser at det oppstår en nokså rask antennelse i vegg og tak. Flammene spres utover taket og det ser ut som rommet skal gå til overtenning. Isteden går flammene helt ned og er tilbake til antennelse i vegg. Videre tar det betydelig lengre tid før antennelse i tak oppstår igjen og rommet går til overtenning. Dette kan kobles med teorien ved at et forkullende sjikt dannes og beskytter det bakenforliggende trevirke. Dette fører til at forbrenningsprosessen går saktere enn i starten. Det skjer likevel bare med det fuktigste rommene, som kan forklares av at det ytterste laget av trevirke antennes. Den videre innbrenningshastigheten blir som nevnt langsommere på grunn av det forkullende sjiktet som dannes, men også på grunn av fuktigheten videre inn i trevirke.

For rommet med 15,1 vekt% fuktinnhold oppstod antennelse i vegg etter 12 minutter. Antennelse i tak oppstod etter 34 minutter, men etter få minutter gikk flammene ned og det oppstod ingen ny antennelse. Forsøket varte i over en time og ble avsluttet da både metanolen og all forbrenningen av trevirke stoppet. Dette var det eneste forsøket hvor det ikke oppstod overtenning i rommet. Det er flere faktorer som kan ha spilt inn, blant annet



pilotflammen. I dette forsøket, samt forsøket som hadde 13,5 vekt% fuktinnhold ble det benyttet 200 gram metanol. I forsøket med 13,5 vekt% fuktinnhold gikk rommet akkurat til overtenning før metanolen var brent ut. Det er dermed rimelig å anta at fuktinnholdet var for høyt i forhold til effekten fra metanolbrannen. En annen årsak kan være fuktprosessen. Begge disse rommene ble fuktet ved bruk av fuktkassen (eneste rommene som benyttet denne metoden). Rommet med 15,1 vekt% fuktinnhold ble oppbevart lengre i fuktkassen enn rommet med 13,5 vekt% fuktinnhold. Det kan ha ført til at veggene i rommet ble fuktet hele veien gjennom, og det ble dermed vanskeligere for brannen å utvikle seg.

Rommet med 9,6 vekt% fuktinnhold er den eneste som skiller seg ut fra trenden. Denne går til overtenning på et tidligere tidspunkt enn både rommet med 8,4 vekt% og 9,3 vekt% fuktinnhold. Teoretisk sett burde overtenning ha inntruffet på et senere tidspunkt enn disse to. Her var det forventet at rommet skulle hatt den samme trenden som de andre fuktige, hvor den ville fått "humpen" i temperatur- og massetapsgrafen. Før dette forsøket ble gjennomført, var det antatt at rommet var fuktigere enn det den var, det ble derfor benyttet 200 gram metanol i dette forsøket. Måten rommet ble fuktet på kan også ha hatt en betydning. Hvis kun overflaten av trevirke inneholder vann, vil den videre innbrenningshastigheten gå raskere.

Ved å se på massetapsraten under de ulike forsøkene, observeres det at jo tørrere rommene er, desto høyere er massetapet. Massetapsraten for det tørreste rommet, 4,3 vekt%, skiller seg ut fra de andre. Alle rommene har en bratt økning i massetapet like etter overtenning, deretter flater grafene ut og gradvis fortsetter å øke igjen. Massetapet for rommet med 4,3 vekt% fuktighet begynner derimot å synke like etter den bratte stigningen. Dette kan forklares av at forbrenningen skjer svært raskt fordi rommet er tørt. Etter overtenning vil derfor massetapsraten stagnere.

Energiproduksjonen er høyere for forsøkene med lavt fuktinnhold. Dette skyldes at de fuktige rommene bruker mer energi, \dot{Q}_w , til å fordampe vannet.

5.2 Kriterier for tid til overtenning

Ved å sammenligne tid til overtenning for de tre kriteriene som er satt, ser man at hvert forsøk ligger innenfor samme tidsrom. Avviket er på det største 1 minutt og 29 sekund, ellers er det bare sekunder som skiller dem. Dette kommer godt frem fra Figur 17, hvor det er svært interessant å se at alle punktene for tid til overtenning følger den eksponentielle ligningen. Ligningen vil nødvendigvis ikke være gyldig for høyere verdier, men vil gi en god tilnærming for resultatene i forsøkene som er gjennomført.

5.3 Brannspredning

Observasjon fra filmene viser at det ikke er store forskjeller mellom de tørreste og fuktigste rommene når det kommer til antennelse i vegg (med unntak av rommet med 15,1 vekt% fuktinnhold). Det er her noen variasjoner, men ingen klar trend i forhold til fuktighet. Årsaken til dette kan være bruken av en ekstern varmekilde, samt variasjonen i mengde metanol. Forskjellen mellom de ulike forsøkene vises ikke før trevirke alene står for forbrenningen.



5.4 Feilkilder og usikkerhet

5.4.1 Nedskalering

I et fullskala forsøk anses brannens oppførsel som tilnærmet lik virkeligheten. Ved nedskalering er det dermed ikke gitt at resultatene vil bli det samme som i et fullskala forsøk, fordi brannens spredning og oppførsel avhenger av blant annet størrelse og geometri. Forsøket er også begrenset til at bare vegger og tak kan antennes. Likevel gir resultatene en god tilnærming av hvordan fuktigheten i trevirke vil påvirke brannutviklingen. Temperaturforløpet utvikler seg som forventet, hvor det først er en rask økning frem til overtenning, videre stabiliserer temperaturen seg og deretter fortsetter den gradvis å øke. Selve overtenningen oppstår også som beskrevet for en fullskala brann, hvor røyklaget antennes og stikkflammer utenfor brannrommet observeres. Selv om tid til overtenning vil ta lengre tid i et fullskala forsøk, er det rimelig å anta at den samme trenden vil oppstå.

5.4.2 Pilotflamme

Karet med metanol, som ble benyttet som pilotflamme, kan se ut til å ha en påvirkning for tid til antennelse i vegg. Forskjellene mellom de ulike fuktighetene kom ikke frem før antennelse i tak, når trevirke selv skulle stå for forbrenningen. En annen faktor som kan ha påvirket tid til antennelse i vegg er mengden metanol som ble benyttet. I de fuktigste rommene ble det bestemt å øke metanolen til 200 gram, som vil si at forsøkene ikke hadde samme utgangspunkt. En økning av metanolen ble bestemt etter forsøksprosessen var igangsatt. Rommet med 12,1 vekt% fuktinnhold gikk akkurat til overtenning før metanolen var utbrent. Det ble derfor bestemt å øke mengde metanol i de forsøkene som var forventet et høyt fuktinnhold, for å sikre at rommet skulle gå til overtenning. Ved 200 gram metanol var karet fylt opp til kanten, i motsetning til 120 gram, hvor det var halvfyllt. Forsøkene sier derfor ingenting om hvordan fuktinnholdet påvirker tid til antennelse i vegg.

Effekten av pilotflammen er svært lav og etter antennelse i vegg vil den ha en liten innvirkning på det videre brannforløpet.

5.4.3 Termoelement

Etter utføring av forsøk ble det sotdannelse på termoelementene. Det ble i ettertid av forsøkene sett at soten hadde betydning for målt temperatur. Et termoelement med sot sammenlignet med et termoelement uten, hadde en temperaturforskjell på 100 °C på det samme tidspunktet og ved lik plassering. Soten ble ikke fjernet mellom forsøkene, forholdene var derfor like for alle gjennomføringene.

5.4.4 Beregning av fuktighet

Målingene fra fuktmåleren ble ikke benyttet på grunn av usikkerheten som lå bak, med en slingring på ± 2 %. Fuktmåleren slet også med å måle fuktighet under 6 vekt%. Det ble derfor valgt å se vekk i fra disse målingene.

Ovn-tørkemethoden var derimot en mer nøyaktig metode. En referansedør ble benyttet, fordi det ikke er mulig å bruke selve rommet. Ved å se på forholdet mellom vekten av rommet på ulike tidspunkt, sammenlignet med vekten av døren på to ulike (se Tabell H.1, Vedlegg H), så virker bruken av referansedøren å være en god tilnærming for å finne fuktinnholdet.



5.4.5 Fukt-/tørkeprosess

Alle rommene gikk gjennom en fukt-/tørkeprosess. Det ligger en viss usikkerhet i disse prosessene, hvor en ikke er sikker på om rommet var fuktig hele veien gjennom trevirke, eller om kun det ytterste laget ble fuktet/tørket.

Temperatur og fuktnivå utendørs og i brannlabben kan ha en betydning for resultatene. For at dette skulle ha minst mulig innvirkning, ble det forsøkt å gjennomføre forsøkene innenfor samme tidsrom, samt forsøk med ulik fuktighet på samme dag.



6 Konklusjon

Det kommer tydelig frem fra resultatene at fuktinnholdet i trevirke vil påvirke tid til overtenning. Hele 14 minutter skiller det fuktigste rommet, 13,5 vekt%, fra det tørreste, 4,2 vekt%. I tillegg til redusert tid til overtenning og økt massetapsrate, ble det også observert mer gnister og større flammer utenfor de tørre rommene.

Det ble sett på tre ulike kriterier for tid til overtenning:

- Når temperaturen i røyklaget overstiger 550 °C
- Observasjon av stikkflammer ut av åpningen i rommet
- Når energiproduksjonen var tilstrekkelig for å oppnå overtenning

Alle kriteriene stemmer godt overens og tiden til overtenning følger den samme eksponentielle kurven.

De observerte "humpene" i temperatur- og massetapsrategrafene for de fuktige rommene er også svært interessante. Her dannes det et forkullende sjikt som beskytter det bakenforliggende trevirket. Fuktigheten lengre inn i trevirke vil være med på å bremse forbrenningsprosessen, det tar dermed lengre tid før antennelse i tak oppstår og rommene går til overtenning.

Flere teorier som i utgangspunktet er satt for et fullskala rom, ser også ut til å stemme i mindre skala. I et fullskala forsøk, hvor det vil ta lengre tid for brannen å spre seg, kan resultatene se noe annerledes ut. Likevel gir forsøkene en klar indikasjon på hvordan brannforløpet og tiden til overtenning vil være avhengig av fuktinnholdet i trevirke.

Brannen i Lærdal utviklet seg raskere enn det brannvesenet klarte å kontrollere. På grunn av den lave fuktigheten ute- og innendørs kombinert med den kraftige og skiftende vinden, hadde brannspredningen til nabobebyggelsen startet allerede før brannvesenet var ankommet. Kunnskap om hvordan fuktighet i trevirke kan påvirke brannutviklingen er svært betydningsfullt for brannvesenet med tanke på utrykningstid, brannspredning og slokkearbeid.



7 Forslag til videre arbeid

Under alle forsøkene ble det benyttet en dørhøyde som var 0,4 meter. For at det skal være et komplett $\frac{1}{4}$ ISO rom, må dørhøyden justeres til 0,5 meter. Ved denne justeringen kan tiden til overtenning endres noe, men samme trend for resultatene er forventet å ville oppstå.

Om det skal gjøres en ny gjennomføring av forsøkene bør soten på termoelementene fjernes før hvert forsøk. Dette for å få mest mulig likt utgangspunkt.

Antall termoelement kan også reduseres. Kun 12 termoelement ble benyttet i resultatet. Hvis antallet skal reduseres, må alle termoelementene plasseres i røyklaget.

Det ble mye forstyrrelser under forsøket i massetapsraten til metanolen, forårsaket av at klossen som metanolkaret ble plassert på, kom i kontakt med bunnplaten. Det anbefales derfor at hullet i bunnplaten, som klossen plasseres i, lages noe større, slik at den ikke forstyrrer loggingen av massetapet.

Det kan også vurderes om det er nødvendig og logge massetapet av rommet og pilotflammen, med tanke på at det allerede er dokumentert i denne rapporten.

Dersom forsøkene skal gjentas anbefales det å gjøre bedre manuelle observasjoner under forsøkene (i tillegg til videoopptak), samt å ta notater av det som observeres. I utgangspunktet var det tenkt å se på filmene, men på grunn av mye støy og noe dårlig kvalitet ble dette vanskelig.

Det anbefales å bruke samme mengde metanol i alle forsøkene for å unngå at dette er en usikker faktor.

Eventuelt kan en ny pilotflamme benyttes, som beskrevet i [17]; En gassbrenner med et munnstykke som kan stilles inn slik at begge sider av hjørnet antennes.



DEL 2: Konkallorimeter

Del 2: Konkallorimeter er utført som et forsøk på å underbygge resultatene fra Del 1: ¼ ISO rom. Her inngår en teoridel, forsøksdel, samt diskusjon og konklusjon.

8 Teori

8.1 Konkallorimeter

Varmeavgivelse er den viktigste variabelen innen brannrisikovurdering. Ulike metoder for måling av varmeavgivelse av materialer og produkter under forskjellige forhold har derfor blitt utviklet. Prinsippet bak konkallorimeter er at de aller fleste materialer forbruker like mye oksygen for hver kilo Joule (kJ) varme som blir produsert. [22]

Dataene som man får ut fra konkallorimeteret er opprinnelig brukt for fire formål:

1. Komparativ evaluering av materialer
2. Innhenting av termofysikalske konstanter (brannegenskaper) for materialer
3. Som input data for brannmodeller eller ingeniørberegninger
4. For å fastsette regelverk

Testing med konkallorimeter er en såkalt «Bench Scale Test», og ikke en fullskala test. Testresultatene kan likevel benyttes ved modellering av større branner. Under testen benyttes det prøvestykker som er 10 cm * 10 cm. Prøvestykkene er av minste størrelsesorden innen brannteknikk og er mest brukt innen polymer analyser.

Apparatet er utviklet grundig for å se på egenskapene til materialene i stedet for en spesiell fullskala test i en reell brann. Konkallorimeter kan måle parametere som:

- HRR (Varmetapsrate) [kWm^{-2}]
- Totalt varmetap [MJm^{-2}]
- Massetap [gs^{-1}]
- Effektiv netto forbrenningsvarme [MJkg^{-1}]
- Tid til antennelse
- Røykproduksjon
- CO og CO₂ produksjon

Hvert enkelt eksperiment definerer et spesifikt brannscenario. Typisk for alle testene er at prøvestykkenes opptreden i konkallorimeter avhenger av den spesifikke prøven av testen, inkludert tennkilde, ventilasjon, ekstern varmefluks, temperatur og geometri av prøven. [34]

ISO standard 5660-1 beskriver hvordan konkallorimeteret skal brukes. Standarden beskriver hele testen, inkludert forberedelser som må gjøres, gjennomføring og innhold i konkallorimeter-rapporten. [35]



8.1.1 Beregning for tid til overtenning

Det er funnet flere modeller for hvordan tid til overtenning skal beregnes ved bruk av konkalorimeter. De mindre avanserte modellene er basert på regresjonsanalyse. Ligning (15), av Östman og Tsantaridis, er basert på analyse av test data for 28 materialer. I følge ISO 9705 er dette en god modell for denne type rom/hjørne test. [22]

$$t_{fo} = 0,0716 \frac{t_{ig}^{0,25} \rho^{1,72}}{(Q_{300})^{1,30}} + 57,4 \quad (15)$$

Hvor:

t_{ig}	Tid til antennelse fra forsøk med konkalorimeter ved 50 kWm^{-2} [s]
ρ	Tettheten til materialet [kgm^{-3}]
Q_{300}	Total varmeavgivelse ved 50 kW/m^2 gjennom 300 s etter antennelse [MJm^{-2}]

Ligning (15) kan bli brukt til å forutse utviklingen i et rom/hjørne test, basert på småskala forsøksdata for materialer som ikke har blitt testet i selve rommet.

Modellen har blitt diskutert i [36], hvor de fastslår at modellen gir et godt estimat på tid til overtenning før 600 s (10 minutter) av testtiden.

9 Forsøk

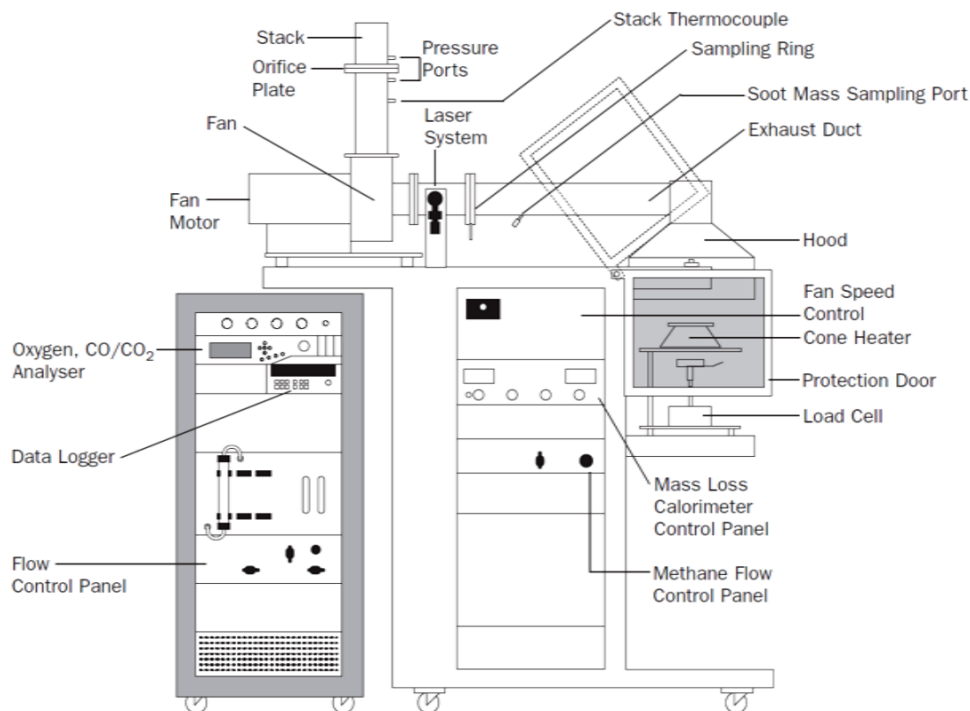
Dette kapitlet gir en generell beskrivelse av hvordan forsøkene med konkalorimeter ble gjennomført.

9.1 Klargjøring av materiell

I konkalorimeteret ble det gjennomført tester med prøvestykker på 10 cm * 10 cm. Prøvestykkene ble laget ut i fra samme materiale som ble brukt i Forsøk: ¼ ISO rom. Samme tørkeprosess og fuktprosess ble gjennomført for prøvestykkene for å oppnå ulik fuktinnhold. Det ble laget 30 prøvestykker.

9.2 Apparat

Figur 18 viser et skjematisk bilde av konkalorimeter.



Figur 18 Skjematisk bilde av konkalorimeter. [34]

9.3 Gjennomføring

De 30 prøvestykkene ble delt i seks serier, med fem prøvestykker i hver serie. For hver serie ble tre av prøvestykkene benyttet til forsøk, mens de to resterende prøvestykkene ble brukt som referanse (samme måte som i Kap. 3.5 Referanse dør). På den måten var det mulig å regne seg tilbake til fuktigheten i hver serie.

Gjennomføringen av forsøkene ble gjort i henhold til ISO standard 5660-1, hvor det er beskrevet hvordan et konkalorimeter skal brukes.



Før man begynner å bruke konkalorimeter må det kalibreres (nullstiller alle parametere). Denne prosessen består av 3 steg:

1. Kalibrering av delsystemene
2. C-test
3. Justere fluksnivået

C-testen gjennomføres ved å brenne en bestemt mengde metangass, for å sjekke at energiinnholdet i metanen er riktig. Resultatet fra testen gir et bestemt tall, det er ønskelig at denne verdien er nærmes mulig 0. Testen forteller om apparatet er klart til bruk.

Trebitene ble delvis pakket inn i aluminiumsfolie og lagt i et kar av stål. Karet ble satt under strålen som var stilt inn på 50 kW/m^2 , etter anbefaling fra internasjonal litteratur.

Når trebiten ble plassert i konkalorimeter ble det brukt en stoppeklokke for å fastslå tid til antennelse. Forsøkene ble avsluttet etter 900 sekunder.

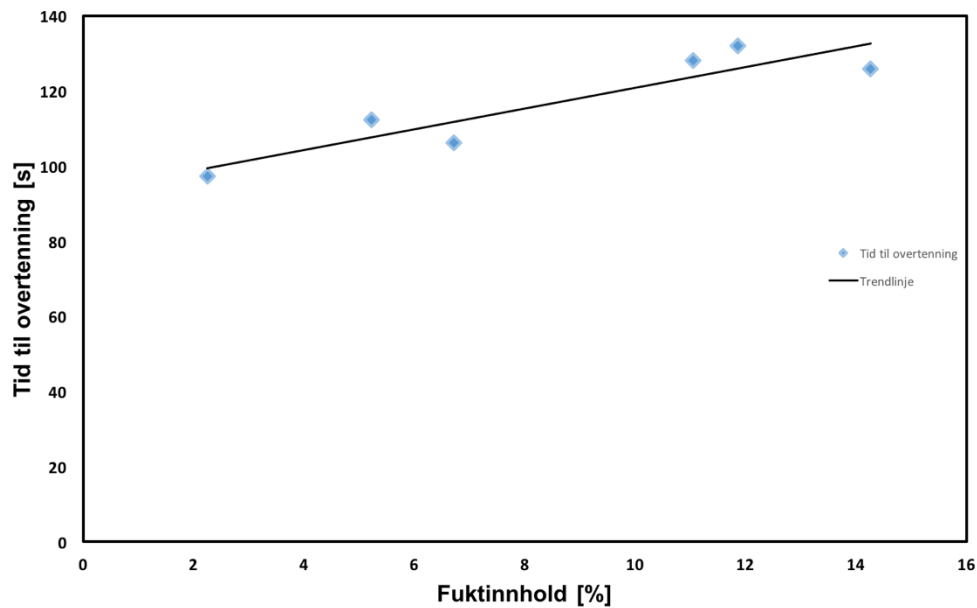


10 Resultat

Tabell 10 gir en oversikt over gjennomsnittlige verdier fra de 6 seriene, se Vedlegg I: Konkallorimeter data. Q_{300} er hentet fra "Cone Calorimeter Test Report", se Vedlegg J: Konkallorimeter rapport. t_{F0} er beregnet fra Ligning (15) og er fremstilt som funksjon av fuktigheten i Figur 19.

Tabell 10 Oversikt over gjennomsnittlige verdier fra de ulike forsøksseriene.

Fukttinnhold	Masse [kg]	Tetthet [kgm ⁻³]	Tid til antennelse [sekund]	Q_{300} [MJm ⁻²]	t_{F0} [sekund]
2,3 vekt%	0,075	416,7	8,7	34,2	97,4
5,2 vekt%	0,079	438,9	11,6	30,3	112,4
6,7 vekt%	0,074	409,4	11,8	30,4	106,2
11,1 vekt%	0,084	466,7	13,8	28,0	128,1
11,9 vekt%	0,085	472,2	16,7	28,3	132,0
14,3 vekt%	0,088	488,9	13,6	30,4	126,0



Figur 19 Tid til overtenning, t_{F0} , som funksjon av fukttinnhold.



11 Diskusjon

11.1 Konkalorimeter

På grunn av den høye strålefluksen (50 kW/m^2) ble det svært liten forskjell i tid til antennelse for de ulike prøvestykkene. Det er dermed vanskelig å se noen klar trend i disse forsøkene.

Ved å se på beregnet tid til overtenning, er det ingen klar trend i forhold til fuktinnholdet i trevirke ved å bare se på punktene. Ved å lage en trendlinje kan det imidlertid sees en liten økning i tid til overtenning som funksjon av fuktinnholdet. Dette påvirkes av den svært raske tiden til antennelse for alle prøvestykkene.

Ved 2,5 vekt% fuktinnhold er tiden til antennelse 9 sekunder, mens for det fuktigste prøvestykket med 14,3 vekt% fuktinnhold, er tiden til antennelse tilnærmet 14 sekunder. Her er det svært små marginer som skiller dem. Det som også blir uklart i disse resultatene er at prøvestykket med 11,1 vekt% og 11,9 vekt% hadde enn lengre antennelsestid enn det fuktigste.

11.2 Feilkilder og usikkerhet

Det er mulig en tydeligere trend ville kommet frem dersom det ble gjort flere forsøk. Antall forsøk var noe marginalt og gjør det vanskelig å få gode resultat. Likevel er det hovedsakelig den høye strålefluksen som påvirker resultatene. Det er vanlig å anta at trevirke vil pilotantenne ved en strålefluks på 5 kW/m^2 (ved flammeeksponering direkte mot overflaten) og spontanantenne ved eksponering av en strålefluks på 27 kW/m^2 . Prøvestykkene ble utsatt for en strålefluks på 50 kW/m^2 og en gnist som antente (pilotantennelse). Det ble dermed ingen forskjell i tid til antennelse for de ulike fuktighetene.

Tiden til antennelse er funnet ved å bruke en stoppeklokke under forsøkene, disse kan være noe unøyaktige. Totalt sett vil dette utgjøre liten forskjell for resultatene i denne rapporten.



12 Konklusjon

På grunn av liten forskjell i tid til antennelse er det ingen klar sammenheng mellom fuktigheten i prøvestykkene og den beregnede tiden til overtenning. Dette skyldes den svært høye strålefluksen (50 kW/m^2).

Det er viktig å gjennomføre mange tester i forbindelse med konkalorimeter før det kan dras konklusjoner om treverkets oppførsel med hensyn til fuktinnhold. Resultatene fra disse forsøkene gir derfor tynt grunnlag til å dra en sammenheng med $\frac{1}{4}$ ISO rom. Det bør gjennomføres flere forsøk og benytte en lavere strålefluks.



13 Forslag til videre arbeid

For å få mer nøyaktige resultater og se en klarere trend bør det gjennomføres betydelig flere tester med konkalorimeter. Det må også gjøres endringer i forhold til strålefluksen. Det anbefales å bruke en strålefluks som er under 30 kW/m^2 .

Dersom strålefluksens ønskes å bevares må differansen mellom fuktinnholdet i trevirket for de ulike seriene som skal gjennomføres være mye større. Det kan gjøre det mulig å se en tydeligere trend og få en større forskjell i tid til antennelse. Likevel er 50 kW/m^2 en svært høy strålefluks.



DEL 3: ¼ ISO rom vs. konkalorimeter

Hovedformålet med oppgaven var å se på hvordan fuktigheten i trevirke ville påvirke tiden til overtenning i et tilnærmet ¼ ISO rom. I tillegg ble det valgt å utføre forsøk med konkalorimeter, som er en standardisert prøvingsmetode, for å prøve å dra en sammenheng med forsøkene utført på brannlaben.

Ved å sammenligne tid til antennelse fra forsøk med konkalorimeter, med tid til antennelse i vegg fra forsøk med ¼ ISO rom, observeres det samme. Det er ingen klar trend som skiller de tørre fra de fuktige. Dette kan forklares av den eksterne varmekilden som er tilstede i begge tilfellene. I forsøk med ¼ ISO rom kommer ikke forskjellene frem før antennelse inntreffer i tak, og trevirke alene står for forbrenningen. Det kan virke som dette var tilfellet med forsøkene i konkalorimeteret også. Antennelsen oppstod ved at strålefluksen fra konen dannet pyrolysegasser fra trevirke. Gassene ble antent av en gnist. Fordi strålefluksen var såpass høy, hadde fuktinnholdet i trevirke liten innvirkning på tiden til antennelse.

Det er dermed vanskelig å se noen klar sammenheng mellom forsøkene med konkalorimeter og trerommene.



Referanser

- [1] Store Norske Leksikon. (2009, 14. februar). Absorbere. Hentet 12. april 2016 fra: <https://snl.no/absorbere>
- [2] Kosmos. (2009, 6. oktober). Ordforklaringer A til G. Hentet 12. april fra: <http://kosmossf.cappelendamm.no/c35900/artikkel/vis.html?tid=580816>
- [3] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Brannscenario. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=4246>
- [4] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Flammepunkt. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=3600>
- [5] NDLA. (u.å.). Kjemisk energi. Hentet 12. april 2016 fra: <http://ndla.no/nn/node/53380>
- [6] Store Norske Leksikon. (2009, 14. februar). Molekyl. Hentet 12. april 2016 fra: <https://snl.no/molekyl>
- [7] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Overtenning. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=2924>
- [8] Ordnett. (u.å.). Polymer. Hentet 12. april 2016 fra: <https://www.ordnett.no/search?search=polymer+analyse&lang=en>
- [9] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Pyrolyse. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=2966>
- [10] Store Norske Leksikon. (2009, 14. februar). Regresjonsanalyse. Hentet 12. april 2016 fra: <https://snl.no/regresjonsanalyse>
- [11] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Risiko. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=3963>
- [12] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Selvantennelse. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=3720>
- [13] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Spontanantennelse. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=3734>
- [14] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Tennpunkt. Hentet 12. april 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=3219>
- [15] Store Norske Leksikon. (2009, 14. februar). Trend. Hentet 12. april 2016 fra: <https://snl.no/trend>



- [16] Log, T. (2016). *Cold Climate Fire Risk; a Case Study of the Lærdalsøyri Fire, January 2014*. doi: 10.1007/s10694-015-0532-8. Fire Technology (2015)
- [17] Hole, A., Olaisen, H. G., (2015). *Sammenhengen mellom fuktighet i treverk og tiden til overtenning*. Haugesund: HSH
- [18] Kollegiet for brannfaglig terminologi. (u.å.). Brann. Hentet 8. februar 2016 fra: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Id=3418>
- [19] Hagen, B. C. (2004). *Grunnleggende brannteknikk*. Haugesund: Bjarne Christian Hagen
- [20] Karlsson, B., Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton: CRC Press.
- [21] Johansson, N. (2015). *Fire Dynamics of Multi-Room Compartment Fires*, Lund universitet. 1402-3504.
- [22] Hurley, M. J. (Red.). (2016). *SFPE Handbook of fire protection engineering*. New York: Springer
- [23] Drysdale, D. (2011). *An Introduction to fire dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons
- [24] Store Norske Leksikon. (2009, 14. februar). Varmeledning. Hentet 26. januar 2016 fra: <https://snl.no/varmeledning>
- [25] Steen-Hansen, A., Bøe, A. G., Hox, K., Mikaelson, R. F., Stensaas, J. P., Storesund, K. (2014). *Hva kan vi lære av brannen i Lærdal i januar 2014? Vurdering av brannspredningen*. SP Fire Research AS, SPFR-rapport SPFR A1409
- [26] Norsk Treteknisk Institutt. (1999). *Treteknisk Håndbok*. Oslo: Reclamo Ryen A/S
- [27] Norske Takstolprodusenters Forening. (1999). *Trekonstruksjoner med spikerplater*. Hentet 28. april 2016 fra: <http://www.takstol.com/bok/trekonstruksjoner/trekonstruksjoner-kap15-h.pdf>
- [28] Simpson, W. T. (1998). *Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and worldwide*. Research note FPL-RN-0268. US department of agriculture.
- [29] Standard Norge. (2002). *Fuktinnhold i et vikestykke av skurlast Del 1: Bestemmelse ved tørkemetode (innbefattet rettelsesblad AC:2003) (NS-EN 13183 – 1)*. Oslo: Standard Norge.
- [30] Howard, E. T. (1973). *Heat of Combustion of Various Southern Pine Materials*. Wood Science. 5(3):194-197.



[31] Frisk og funksjonell. (2013, 16. desember). Den vitenskapelige metode. Hentet 20. april 2016 fra: <http://www.friskogfunksjonell.no/vitenskapelig-metode/>

[32] Omega. (u.å.). Equilibrium Relative Humidity. Hentet 20. april 2016 fra: <http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z103.pdf>

[33] Log, T., Kraaijeveld, A., Schei, B., Gunnarshaug, A., (2016). *Burning rate and time to flashover in wooden ¼ scale compartments as a function of fuel moisture content*. Haugesund: HSH

[34] Lindholm, J., Brink, A., Hupa, M. (u.å.) *Cone Calorimeter – A tool for measuring heat release rate*, Finland: Åbo Akademi Process Chemistry Center.

[35] International standard. (1993). *Fire test- Reaction to fire- Part1: Rate of heat release from building products (Cone calorimeter method)(ISO 5660-1)*. Sveits: International organization for standardization.

[36] Wang, Z., Hu, X., Jia, F., Galea, E. R., (2012). *A two-stp method for predicting time to flashover in a room corner test fires using cone calorimeter data*. doi: 10.1002/fam.2139



Vedlegg A: Instrumenter

Tabell A. 1 Oversikt over utstyr som er benyttet i de ulike prosessene.

¼ ISO rom og prøvestykker til konkolorimeter			
Utstyr	Produsent	Produktnavn	Bruksområde
Limtreplater, furu			¼ ISO-rom
Klargjøring av ¼ ISO rom og prøvestykker til konkolorimeter			
Utstyr	Produsent	Produktnavn	Bruksområde
Plast	GRAM	Dampsperre	Tørke/fuktprosess
Vifte	Simens	HVE210s	Tørkerom
USB-vifte	Clas Ohlson	38-4029	Tørke/fuktprosess
Litiumclorid [32]	VWR International AS	Litiumclorid Technical, rensset	Tørkeprosess
Fuktmaskin	PVG Holding B.V	Qlima	Fukttelt
Under forsøk: ¼ ISO rom			
Utstyr	Produsent	Produktnavn	Bruksområde
Vekt A	Kern Instruments	DS30k,01 30kg Δm 0,1g	Massetap rom
Vekt B	Kern Instruments	DS30k,01 3kg Δm 0,01g	Massetap metanol
Datalogger	Agilent	34972A	Logging av Temperatur og masse
Databehandlingsprogram	-	Labview	Rådatafil
Fuktmåler	Brookhuis	FME	Luftfuktighet/Temperatur
Fuktmåler	Extech	RH 390	Luftfuktighet/Temperatur
Fuktmåler	VelociCalc	8388-M-S	Fuktinnhold i treverket
Brannmursplate			
Termoelement, Type K	MRC HypTeck AS	TK-1,5-R-1-C-K- 2000-P-3000- NM-class2	Temperatur i brannrommet
Kar	-	-	Til metanol
Metanol	-	-	Pilotflamme
Under forsøk: Konkolorimeter			
Utstyr	Produsent	Produktnavn	Bruksområde
Konkolorimeter	-	-	
Tørking av limtreplatene			
Utstyr	Produsent	Produktnavn	Bruksområde
Ovn	Termaks	Series TS9000	Tørking av dør



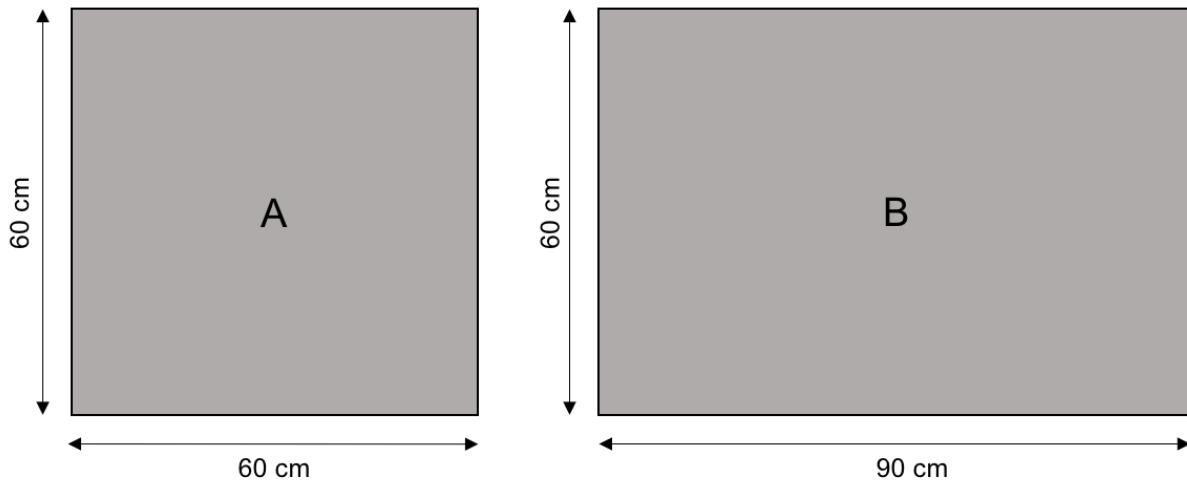
Vedlegg B: Klargjøring av ¼ ISO rom

Utstyr:

- Limtreplater av furu (1,8 cm tykkelse)
- Skruer
- Sag
- Målebånd
- Drill
- Borr

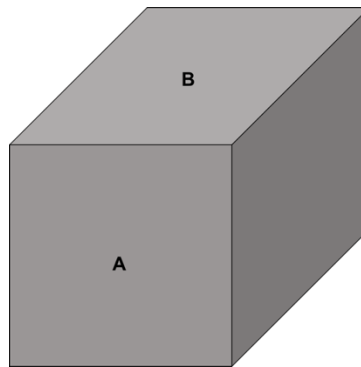
Fremgangsmåte:

1. Skjær ut to plater i størrelse A, og tre plater i størrelse B:



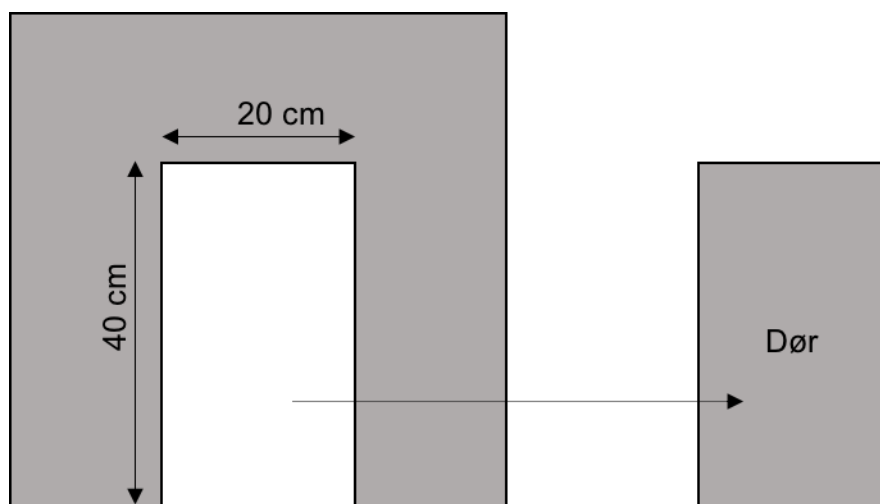
B. 1 Plate A og B med tilhørende mål.

2. Sett sammen platene til en boks, hvor plate A brukes på kortsidene og plate B brukes på langsidene og på toppen. Når platene skrues sammen, benyttes det først et borr til å lage et lite hull. Det er viktig at dette hullet er mindre en diameteren på skruen og at det kun lages hull gjennom den første platen. Dette gjøres for å unngå at platene skal sprekke. Det benyttes fem skruer på hver side. Disse fordeles jevnt. Rommet skal nå se slik ut:



B. 2 Resultatet etter to av plate A og tre av plate B er satt sammen.

3. Neste steg er å lage en dør i rommet. Det er viktig at denne døren skjæres ut i en hel bit, for den skal benyttes senere. Biten som skjæres ut, skal under tørking/fukting ligge sammen med rommet den hører til, slik at fuktigheten er lik i både rommet og døren. En dør med følgende mål skjæres ut fra plate A:



B. 3 Rommet sett forfra etter at døren er skjært ut.

4. Rommet er nå ferdig bygget og klar til tørking.



Vedlegg C: Tørkeprosess

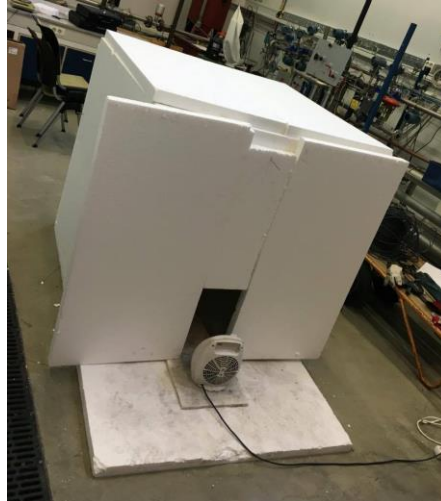
Utstyr:

- Isopor plater
- Stålpinner til å feste sammen isoporen
- Krakk
- Vifte
- ¼ ISO rom + dør
- USB-vifte
- Litiumclorid

Fremgangsmåte:

Alle rommene som er ferdig bygget skal tørkes i isoporrommet sammen med døren. Hele rommet er bygget av isopor, det er også viktig at det legges isopor på gulvet.

1. Vei rommet og døren hver for seg og noter vekten.
2. Plasser rommet og døren på en krakk. Rommet ligger på siden og vender med bunnen ut mot åpningen.
3. Sett på viften og plasser den slik at den blåser inn i isoporrommet. Se Figur C.1. La den stå på i minst 48 timer.
4. Ta ut rommet og døren og vei dem hver for seg. Noter vekten med det samme.
5. Hvis rommet skal bli fuktig, følg Vedlegg D. Skal den beholdes tørr, følg stegene videre.
6. Pakk rommet inn i plast sammen med en USB-vifte. Sørg for at den er pakket godt inn, dette for å unngå lekkasje. Sett gjerne rommet på en bit med isopor for å unngå direkte bakkekontakt.
7. Hvis rommet skal være ekstra tørt legges også en boks med litiumclorid inne i rommet. Det er da viktig at den ikke blir liggende for lenge før forsøket skal gjennomføres, da kan det få en motsatt effekt.



Figur C. 1 Tørkerom av isopor med plassering av vifte.

Vedlegg D: Fuktprosess

Utstyr:

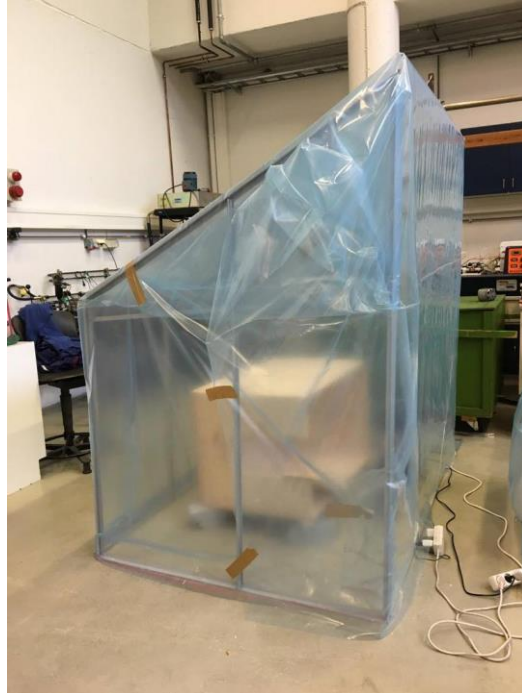
- Teltstenger
- Lufttett plast
- Teip
- Fuktmaskin
- 2 krakker
- ¼ ISO rom + dør
- 2 USB-vifter

Fremgangsmåte:

1. Sett opp teltstengene og kle "skjelettet" med plast. For å feste plasten brukes teip. Prøv å få det så tett som mulig.
2. Sett fuktmaskinen på en krakk inni teltet og sett den på 80% luftfuktighet.
3. Plasser to USB-vifter inni i teltet, for å få sirkulasjon i luften.
4. Plasser rommet sammen med døren på en krakk inni teltet og start fuktmaskinen og viftene.
5. Sørg for å lukke igjen teltet når alt er plassert.
6. La rommet bli stående i minst 3 dager. Husk: fuktmåleren skrur automatisk av etter 12 timer og må da startes på nytt manuelt.
7. Skru av fuktmaskinen ca. 12 timer før forsøket.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Figur D. 1 Teltet som ble benyttet til å fukte trerommene.

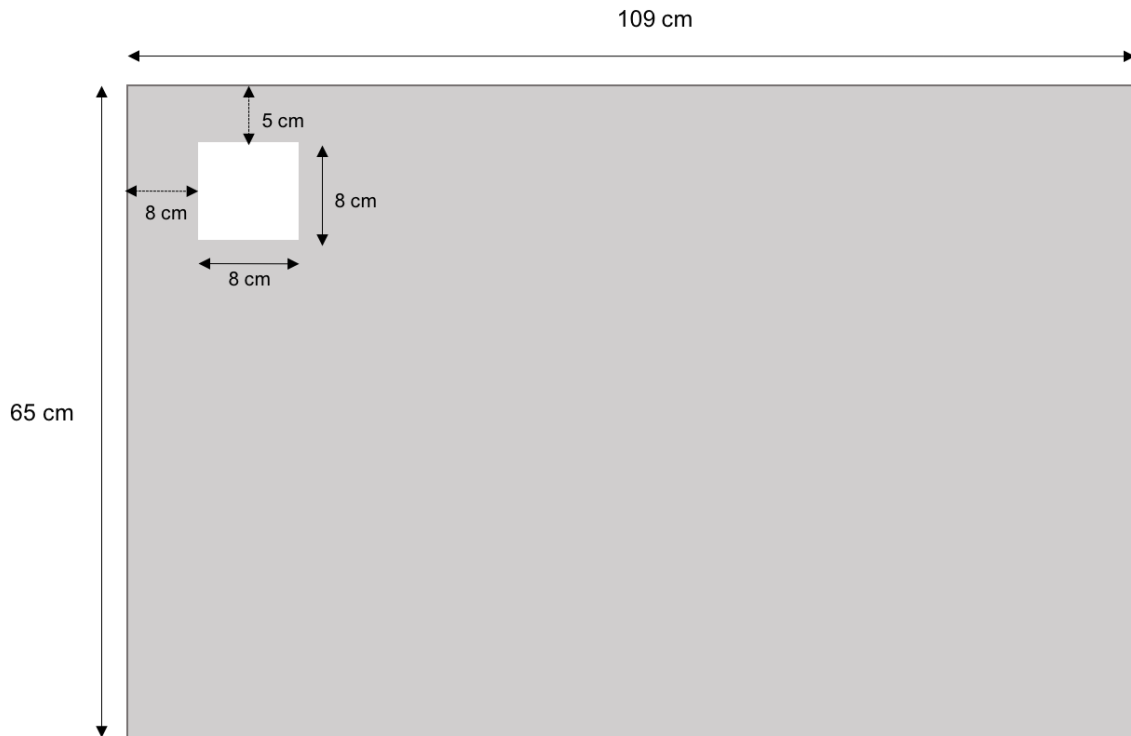
Vedlegg E: Bunnplate

Utstyr:

- Brannmurplate, 5 cm tykk
- Sag
- Målebånd
- Skruer
- Limtreplate

Fremgangsmåte:

1. Start med å skjær til bunnplaten og hullet etter mål i Figur E.1.



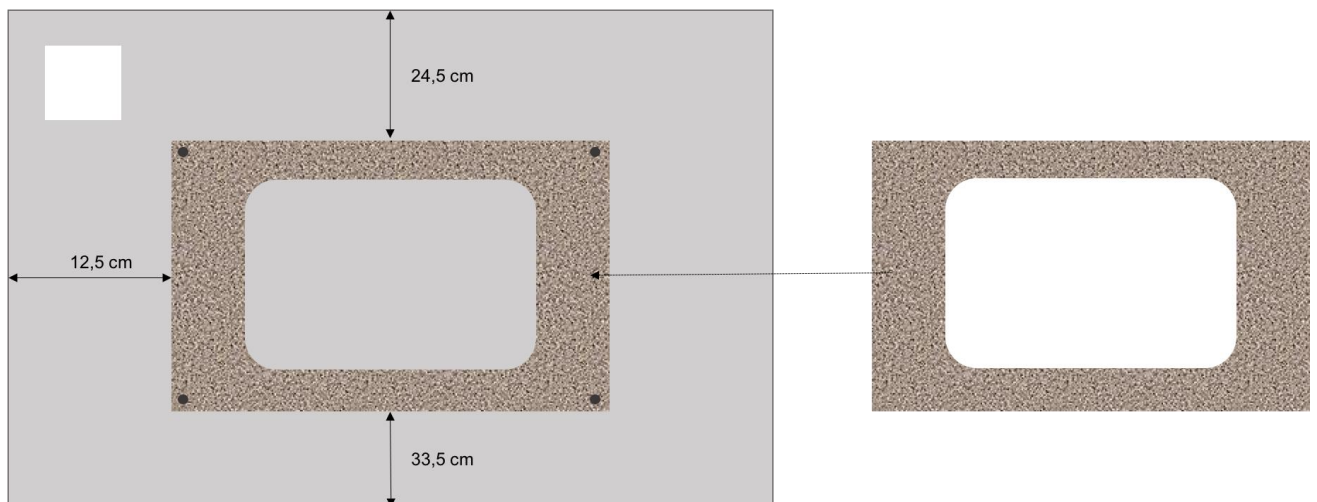
Figur E. 1 Bunnplate med tilhørende mål.

2. Når bunnplaten og hullet er skjært til, finn frem limtreplaten og skjær til etter mål i Figur E.2. Hullet i limtreplaten skal passe til vekten som blir benyttet under forsøket. Legg vekten ca. midt på limtreplaten og tegn rundt. Skjer deretter ut hullet.



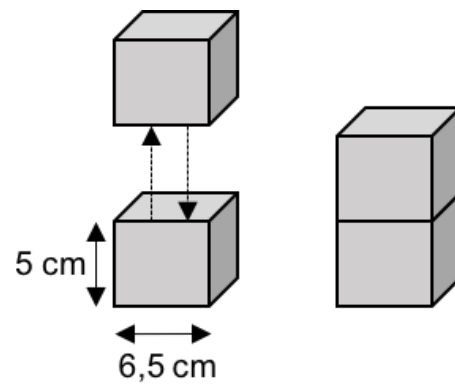
Figur E. 2 Limtreplaten med mål.

3. Nå skal limtreplaten festes ved hjelp av fire skruer, på baksiden av bunnplaten, som vist i Figur E.3.



Figur E. 3 Plassering av limtreplaten på undersiden av bunnplaten.

4. Klossen, som karet med metanol skal plasseres på, lages også ved bruk av en brannmursplate. Skjær derfor til to klosser etter mål vist i Figur E.4 og skru dem sammen til en kloss.



Figur E. 4 Kloss med mål.

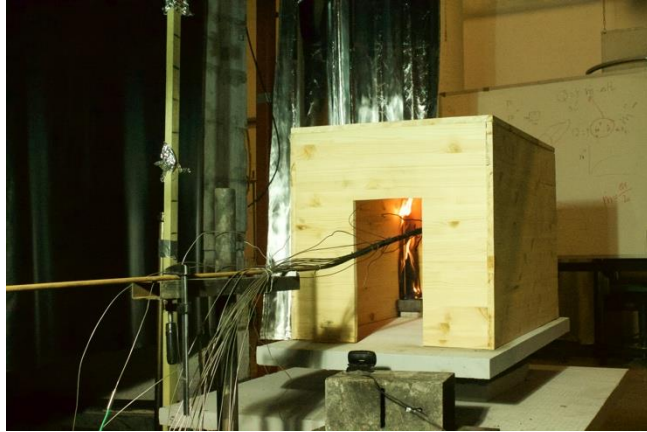


Vedlegg F: Data ¼ ISO rom

Tabell F. 1 Oversikt over forholdet mellom massen av rommet og massen av døren, som er målt på samme tidspunkt.

Fuktighet		Masse _{etter tørking} [gram]	Masse _{før forsøk} [gram]	Forhold [-]
4,2 vekt%	Rom	17715,8	17016,2	0,96
	Dør	612,62	612,62	0,95
4,4 vekt%	Rom	17306,9	17487,5	1,01
	Dør	597,54	604,25	1,01
5,0 vekt%	Rom	17795,8	17863,7	1,00
	Dør	597,66	601,9	1,01
5,1 vekt%	Rom	18186,9	18212,5	1,00
	Dør	673,03	675,91	1,00
8,4 vekt%	Rom	16982,5	17408,7	1,03
	Dør	646,46	670,19	1,04
9,3 vekt%	Rom	17398,4	18046,6	1,04
	Dør	574,12	602,5	1,05
9,6 vekt%	Rom	17489,3	18124,2	1,04
	Dør	654,6	683,81	1,04
12,1 vekt%	Rom	17731,5	18733,6	1,06
	Dør	608,58	650,3	1,07
13,5 vekt%	Rom	17518,9	18532,4	1,06
	Dør	653,52	693,11	1,06
15,1 vekt%	Rom	18050,5	19611,8	1,09
	Dør	566,79	627,39	1,11

Vedlegg G: Bilder fra forsøk



Figur G. 1 Forsøksoppsett, sett forfra, med plassering av pilotflamme.



Figur G. 2 Termoelement sett ovenfra.



Figur G. 3 Rommet med 15,08 % fuktinnhold etter gjennomført forsøk.



Figur G. 4 Pilotflammen.



Figur G. 5 Tørrt ¼ ISO rom pakket inn i plast.

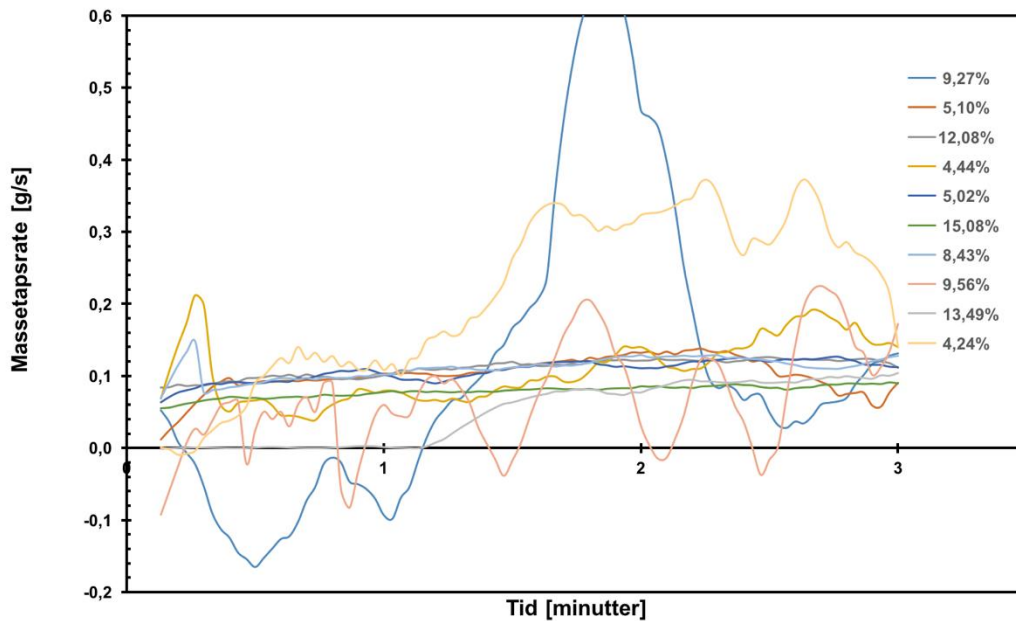


Figur G. 6 Fullt utviklet rombrann.



Vedlegg H: Effekt pilotflamme

Ved å se på massetapsraten fra metanolflammen de første minuttene etter antennelse (liten/ingen tilbakestråling fra flammene), er det mulig å beregne en tilnærmet verdi for effekten til pilotflammen ved bruk av Ligning (10). Figur H.1 viser massetapsraten som funksjon av tid de første tre minuttene, for alle forsøkene.



Figur H. 1 Massetapsrate for metanol som funksjon av tid.

Massetapsraten, \dot{m} , beregnes ved å bruke verdiene logget under forsøkene, hvor et gjennomsnitt av disse er benyttet.

Massetapsraten kan også beregnes fra Ligning (9), ved å benytte verdiene i Tabell H.2, når det ikke er en ekstern stråling og arealet av karet er $0,0081 \text{ m}^2$.

Tabell H. 1 Verdier for massetapsrate [19].

Stoff	L_v	\dot{q}_F''	\dot{q}_L''
Metanol	1,2 kJ/g	38,1 kW/m ²	22,2 kW/m ²

Begge metodene kommer frem til at $\dot{m} = 0,11 \text{ g/s}$ og den beregnede effekten av pilotflammen er presentert i Tabell H.2.

Tabell H. 2 Beregnet effekt.

$\Delta H_{c,metanol}$	19,83 kJ/g
\dot{m}	0,11 g/s
χ	0,993
\dot{Q}_c	2,07 kW



Vedlegg I: Konkallorimeter data

Tabell I. 1 Oversikt over data som er benyttet til å finne gjennomsnittlige verdier til resultat for konkallorimeter.

Serie	Masse etter første tørking [g]	Masse rett før forsøk [g]	Masse etter tørking 105 °C	Fuktighet [%]	Tid til antennelse [s]
1	77,34	77,63	72,86	6,55	12,11
	78,47	78,90	73,82	6,88	11,50
2	82,01	81,44	77,41	5,21	12,00
	72,64	72,04	68,46	5,23	11,25
3	74,29	77,60	69,92	10,98	14,00
	78,18	81,81	73,62	11,12	13,61
4	80,30	84,88	76,04	11,62	15,94
	71,68	75,68	67,53	12,07	17,40
5	77,16	83,17	72,88	14,12	13,93
	71,04	76,91	67,23	14,39	10,11
6	72,13	69,58	67,95	2,40	9,00
	72,52	69,95	68,51	2,10	5,98



Vedlegg J: Konkallorimeter rapport

Serie 1

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

page 1

Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	bachelorprosjekt		
Operator	amalie og brit		
Sponsor			
Manufacturer			
Sample description	wood humidity		
Material name/ID	pine	Report name	wood humidity serie 1
Heat flux	50 kW/m ²	Surface area	100 cm ²
Orientation	Horizontal	Retainer frame used?	Yes

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	11.5	904	887.5	196.65	15	78.70	141.16	110.60	100.98
1	12	904	890	191.03	15	75.57	136.67	104.44	95.19
2	11	904	885	202.27	15	81.82	145.66	116.75	106.78

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g)	Ave MLR (g/s·m ²)	EHC(av) (MJ/kg)
Mean		19		73.8	159.8	100.9	58.9	6.8	13.27
1	50	19	100	73.7	187.9	130.5	57.4	6.6	13.07
2	50	19	100	73.98	131.7	71.3	60.4	7.0	13.47

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	30.41	56.53	-	-0.0338	-506.58	10.66	140.15
1	28.65	53.78	-	-0.0430	-658.05	10.25	135.35
2	32.16	59.28	-	-0.0245	-355.10	11.06	144.95

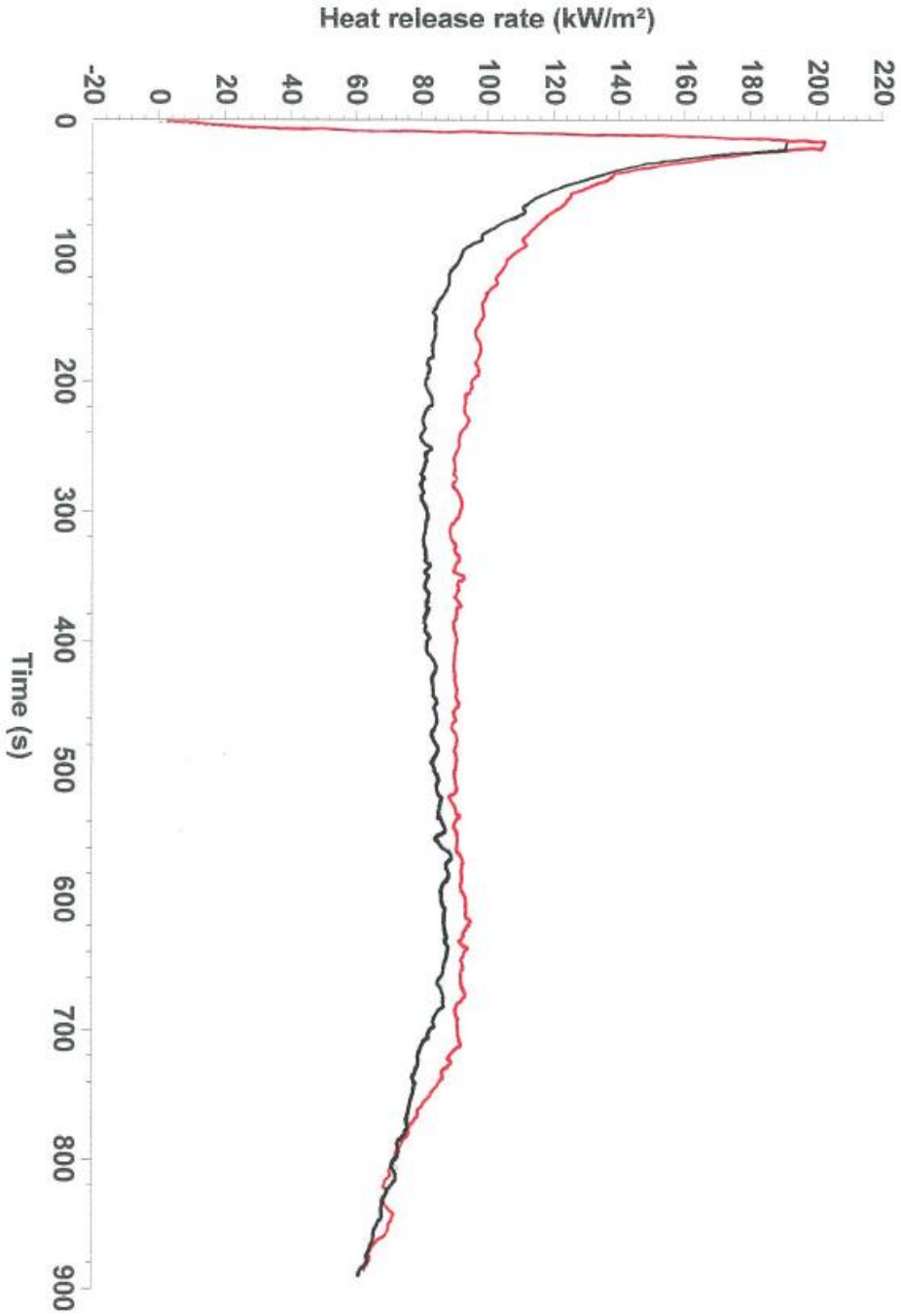
Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	10/03/2016	2	————	C:\CC5\DATA\16010006.CSV
2	10/03/2016	3	————	C:\CC5\DATA\16010007.CSV

6,72 %

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Serie 1



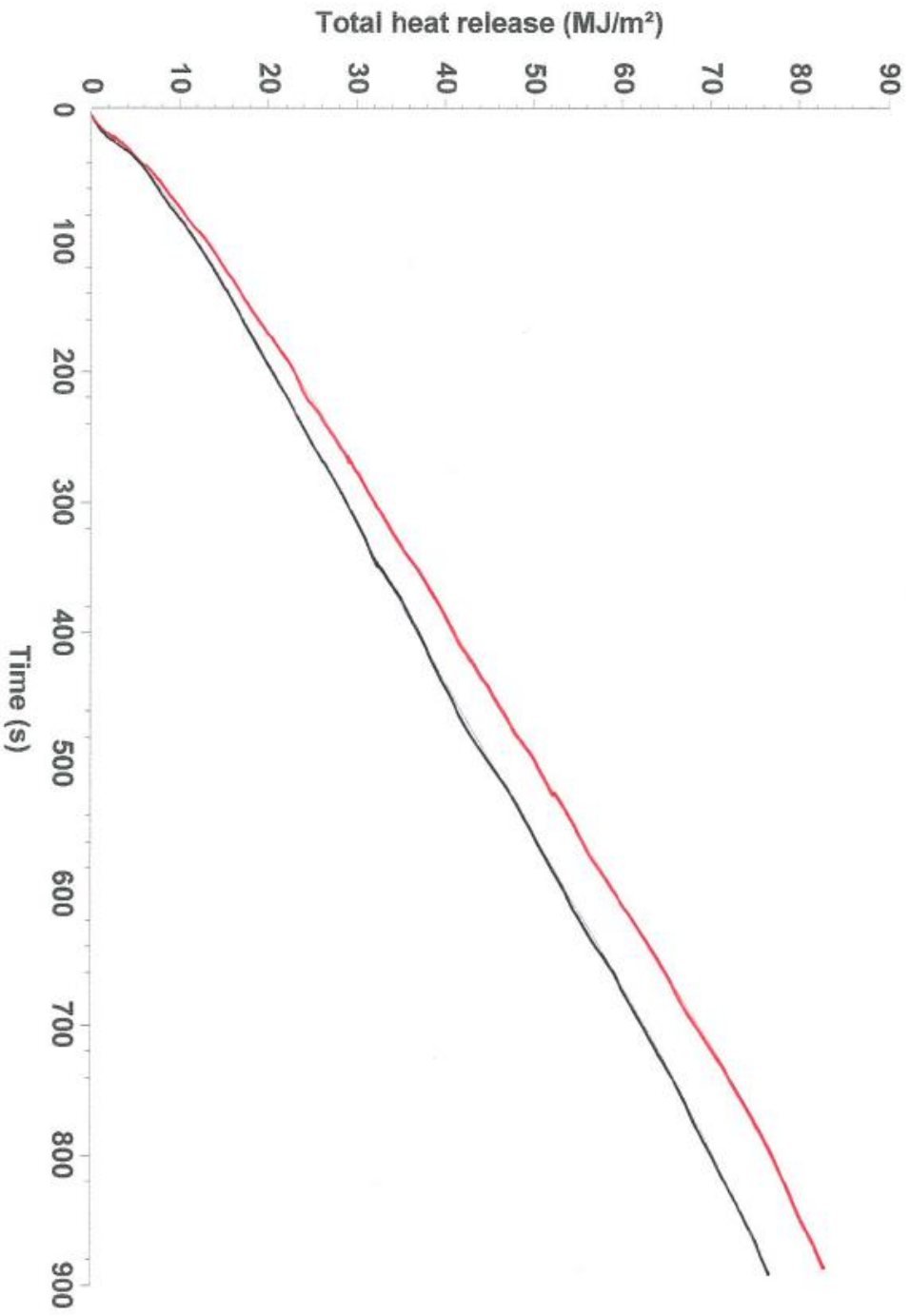
The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



serie 1

Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 1 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	bachelorprosjekt			Report name	wood humidity serie 2
Operator	amalie og brit			Surface area	100 cm ²
Sponsor				Retainer frame used?	Yes
Manufacturer					
Sample description	wood humidity				
Material name/ID	pine				
Heat flux	50 kW/m ²				
Orientation	Horizontal				

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	11.5	918	900	176.39	72.5	84.07	70.13	108.86	105.69
1	12	929	910	173.29	55	87.24	104.04	111.75	108.18
2	11	907	890	179.50	90	80.91	36.22	105.96	103.21

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g)	Ave MLR (g/s·m ²)	EHC(av) (MJ/kg)
Mean		19		78.5	174.0	112.8	61.2	7.0	13.81
1	50	19	100	73.77	143.3	82.0	61.3	7.2	14.31
2	50	19	100	83.21	204.7	143.6	61.1	6.7	13.30

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	30.26	58.13	-	0.0257	373.45	10.77	101.27
1	30.90	60.38	-	0.0273	400.91	11.83	103.24
2	29.62	55.87	-	0.0240	345.99	9.72	99.31

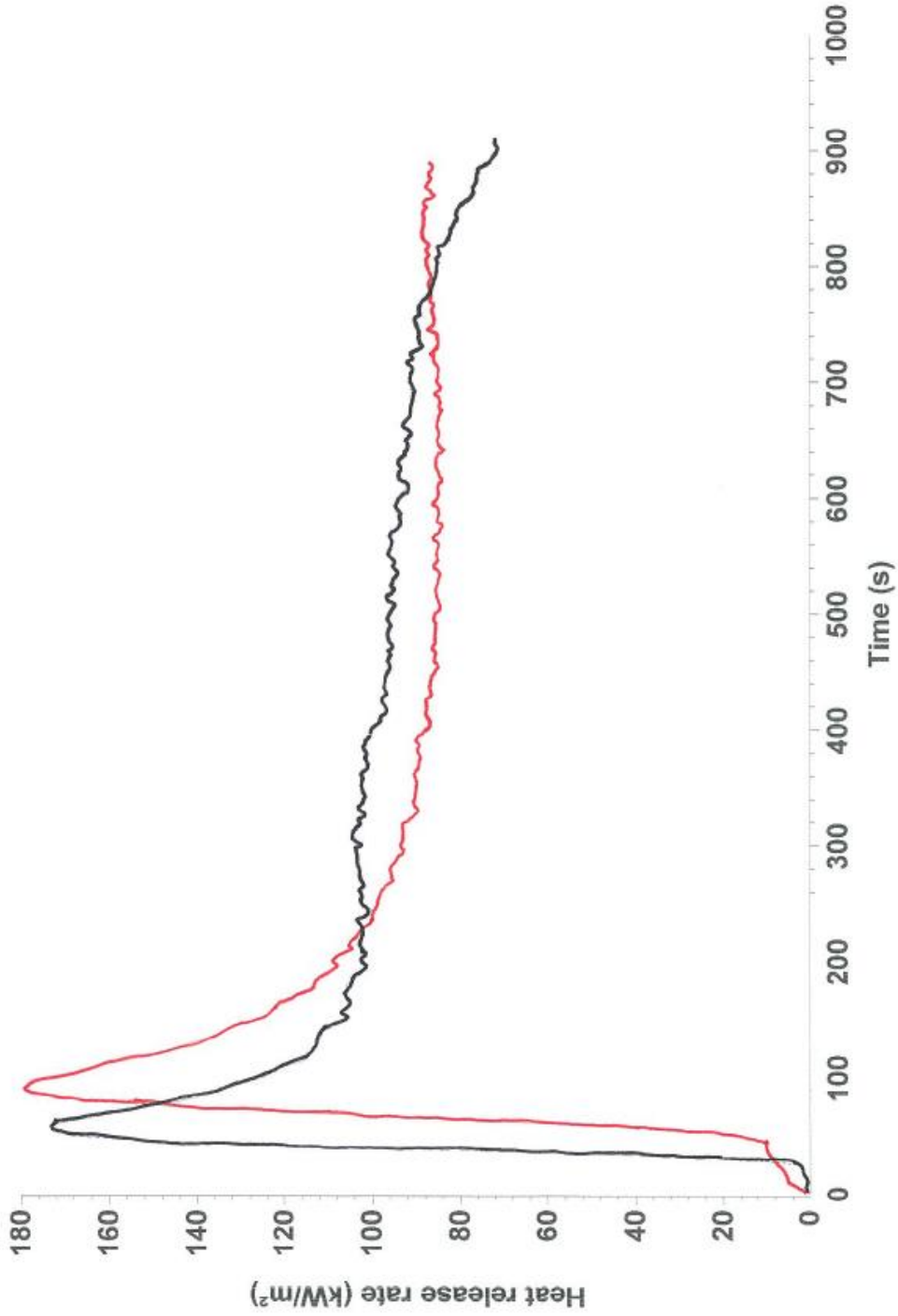
Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	10/03/2016	1	—	C:\CC5\DATA\16010008.CSV
2	10/03/2016	2	—	C:\CC5\DATA\16010009.CSV

5,22 %



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 2 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



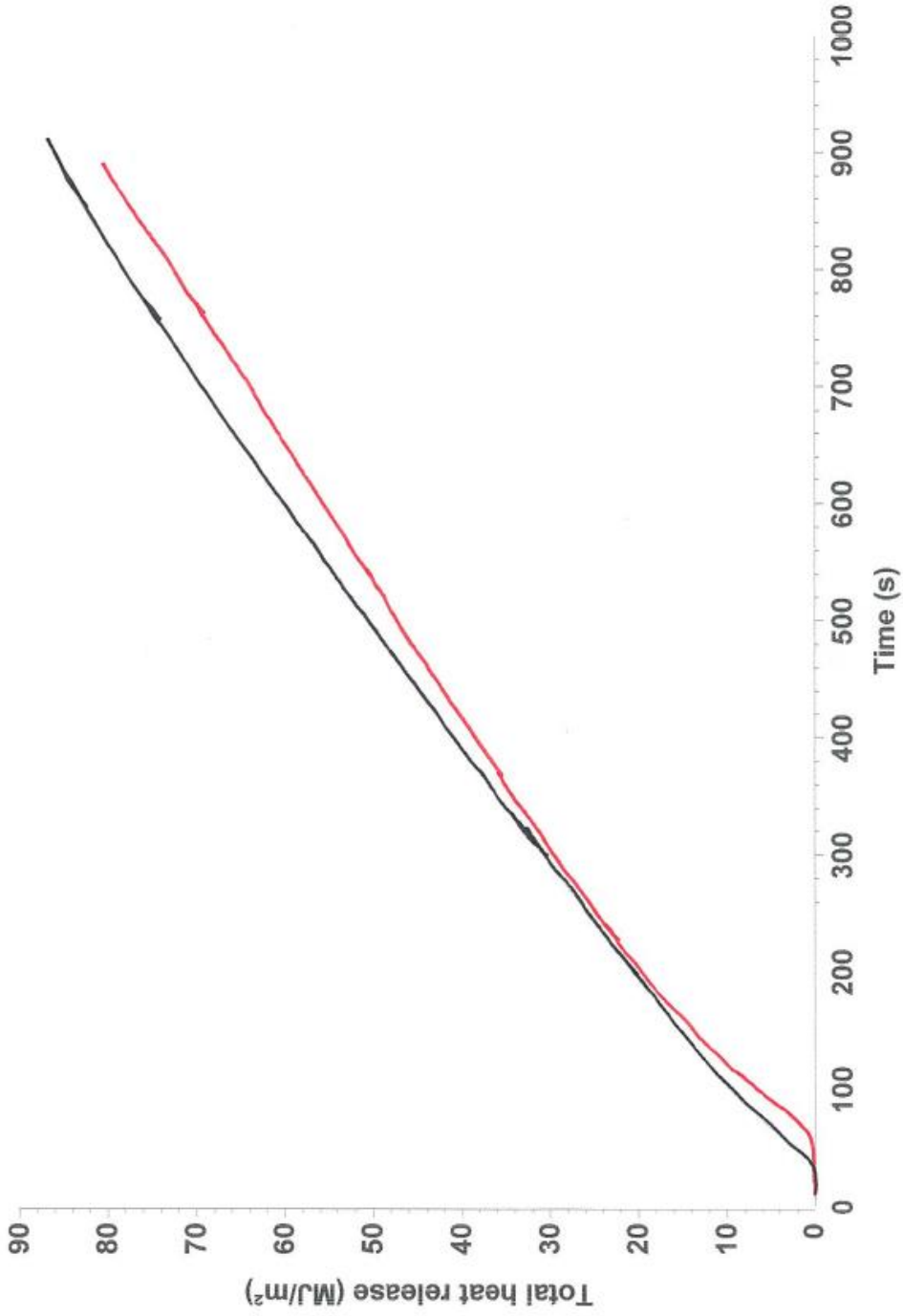
The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Seite 2



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 2 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



serie 2

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	bachelorprosjekt		
Operator	amalie og brit		
Sponsor			
Manufacturer			
Sample description	wood humidity		
Material name/ID	pine	Report name	See individual reports
Heat flux	50 kW/m ²	Surface area	100 cm ²
Orientation	Horizontal	Retainer frame used?	Yes

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	14	909	890	165.00	55	78.38	86.28	100.82	96.19
1	14	902	885	154.39	90	80.08	30.65	93.58	94.34
2	14	916	895	175.62	20	76.68	141.91	108.07	98.05

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g)	Ave MLR (g/s·m ²)	EHC(av) (MJ/kg)
Mean		19		84.1	204.6	141.7	62.9	7.0	12.44
1	50	19	100	87.3	211.7	147.2	64.6	7.2	12.42
2	50	19	100	80.97	197.5	136.3	61.3	6.9	12.47

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	28.02	53.90	-	-0.0021	-35.40	9.32	108.36
1	26.99	53.52	-	0.0099	133.31	9.17	90.52
2	29.04	54.27	-	-0.0142	-204.11	9.47	126.20

Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	10/03/2016	1	—	C:\CC5\DATA\16010010.CSV
2	10/03/2016	3	—	C:\CC5\DATA\16010011.CSV

11,05 %



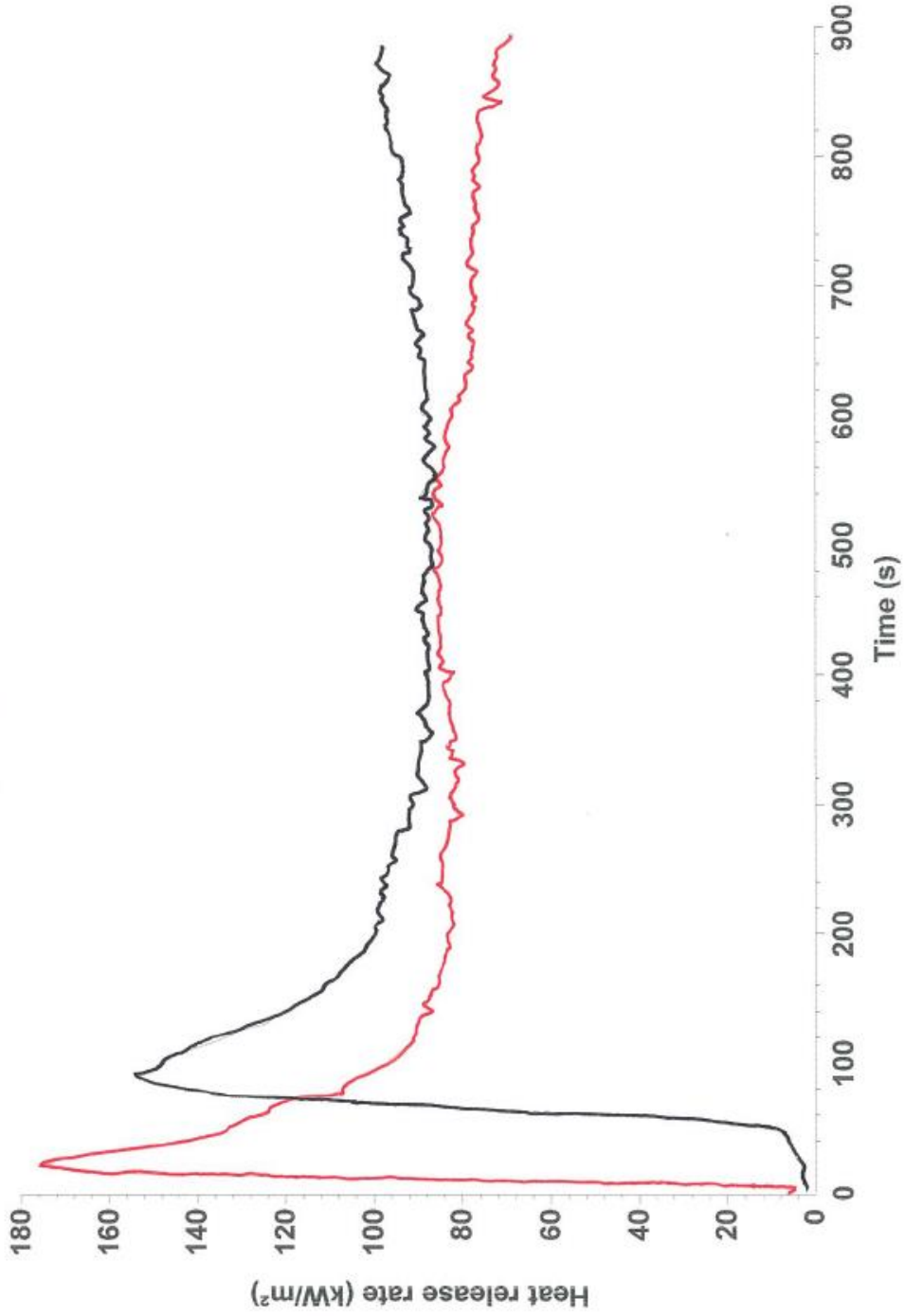
Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: See individual reports

Sample description: wood humidity

Material name/ID: pine

Heat flux: 50 kW/m²



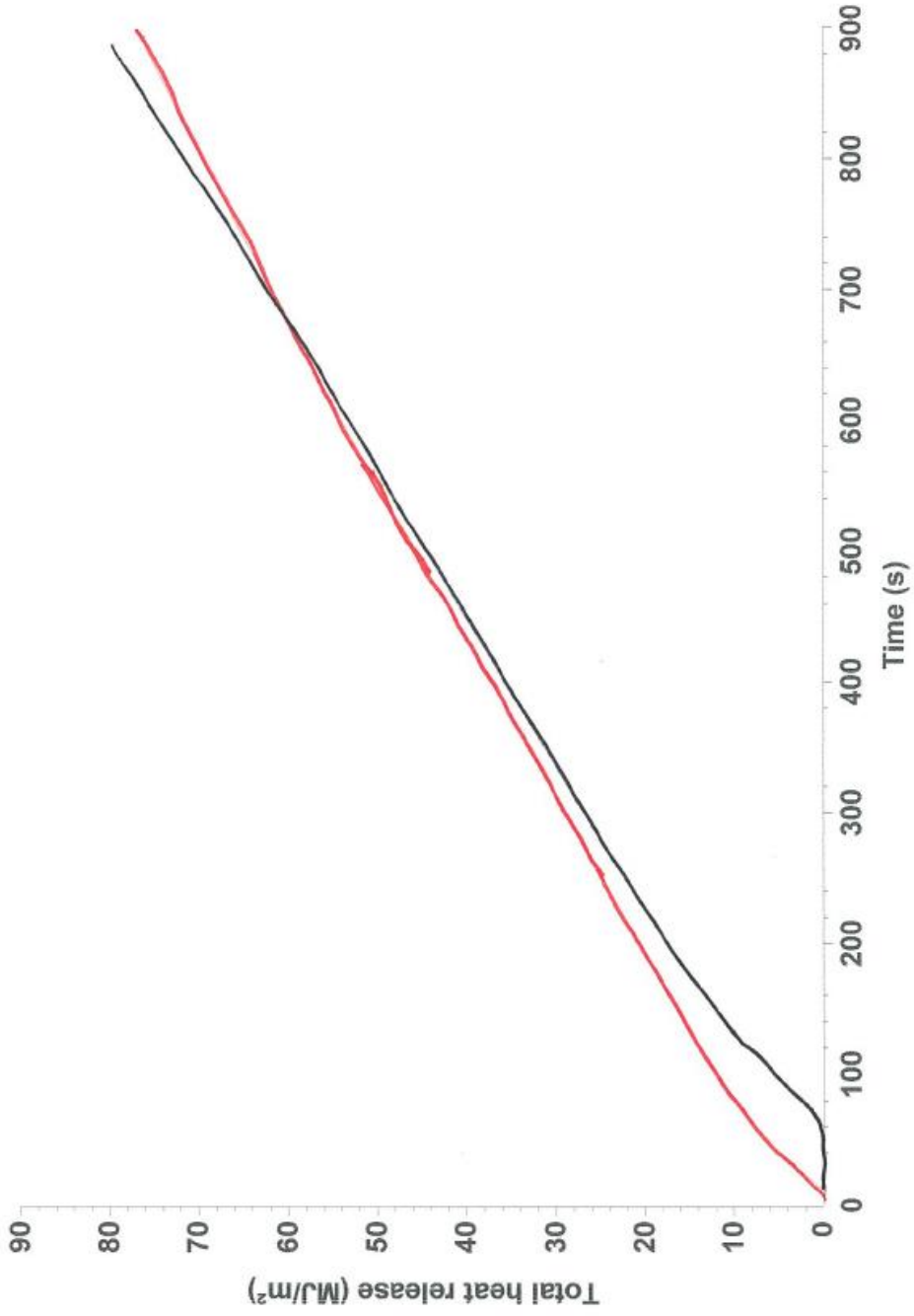
The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Seite 3



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: See individual reports Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	bachelorprosjekt		
Operator	amalie og brit		
Sponsor			
Manufacturer			
Sample description	wood humidity		
Material name/ID	pine	Report name	wood humidity serie 4
Heat flux	50 kW/m ²	Surface area	100 cm ²
Orientation	Horizontal	Retainer frame used?	Yes

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	16.5	920.5	900	174.18	20	78.28	131.94	104.88	95.34
1	16	922	900	165.99	20	78.09	134.50	106.96	96.71
2	17	919	900	182.38	20	78.48	129.38	102.81	93.96

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g)	Ave MLR (g/s·m ²)	EHC(av) (MJ/kg)
Mean		19		84.3	80.6	16.9	63.8	7.1	12.22
1	50	19	100	86.0	78.9	13.5	65.5	7.2	11.89
2	50	19	100	82.62	82.3	20.2	62.1	6.9	12.56

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	28.27	52.38	-	-0.0178	-269.68	9.29	115.70
1	28.64	52.10	-	0.0474	640.51	9.08	116.78
2	27.90	52.67	-	-0.0829	-1179.87	9.50	114.63

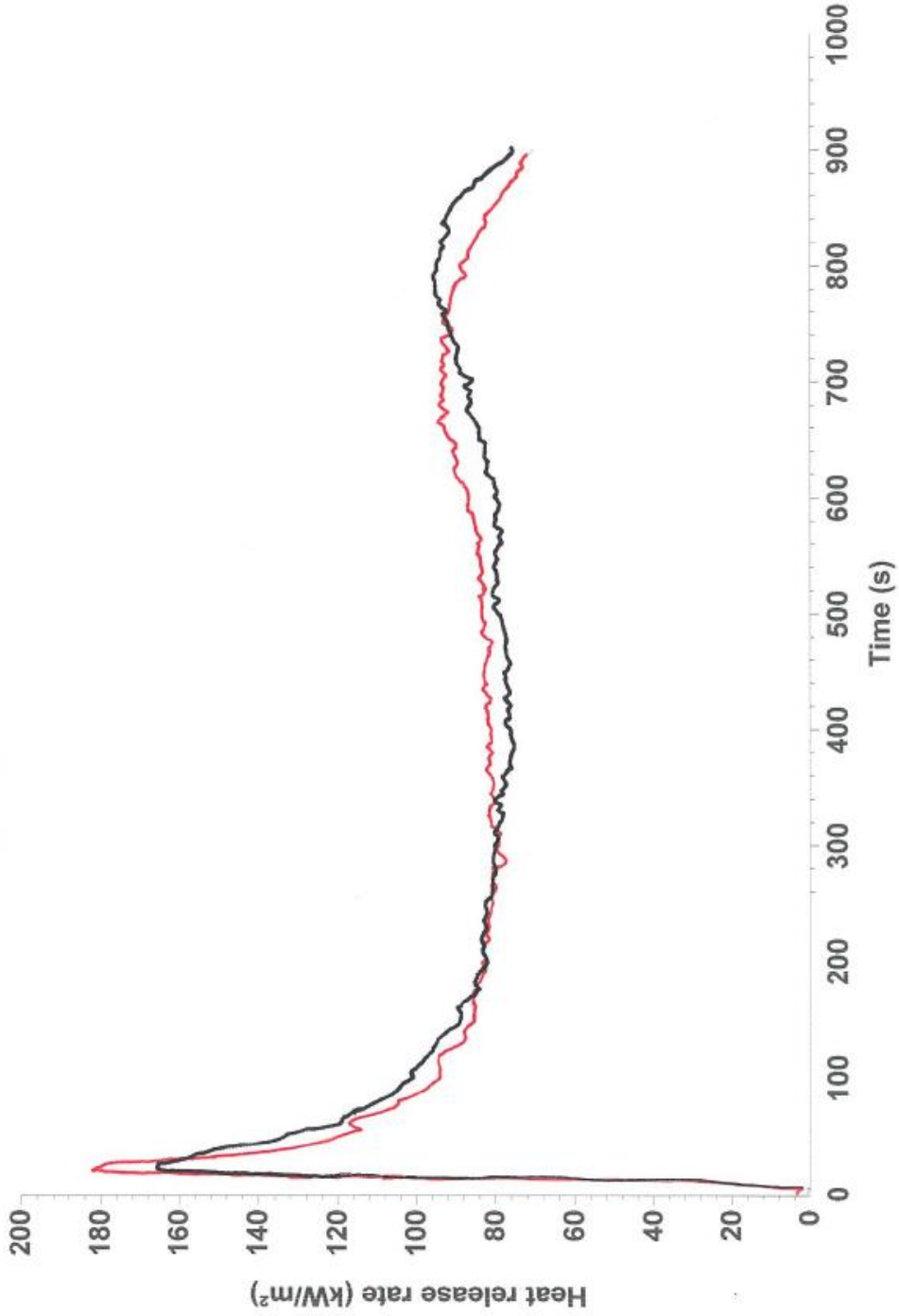
Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	10/03/2016	1	—————	C:\CC5\DATA\16010012.CSV
2	10/03/2016	3	—————	C:\CC5\DATA\16010014.CSV

12,16 %



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 4 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



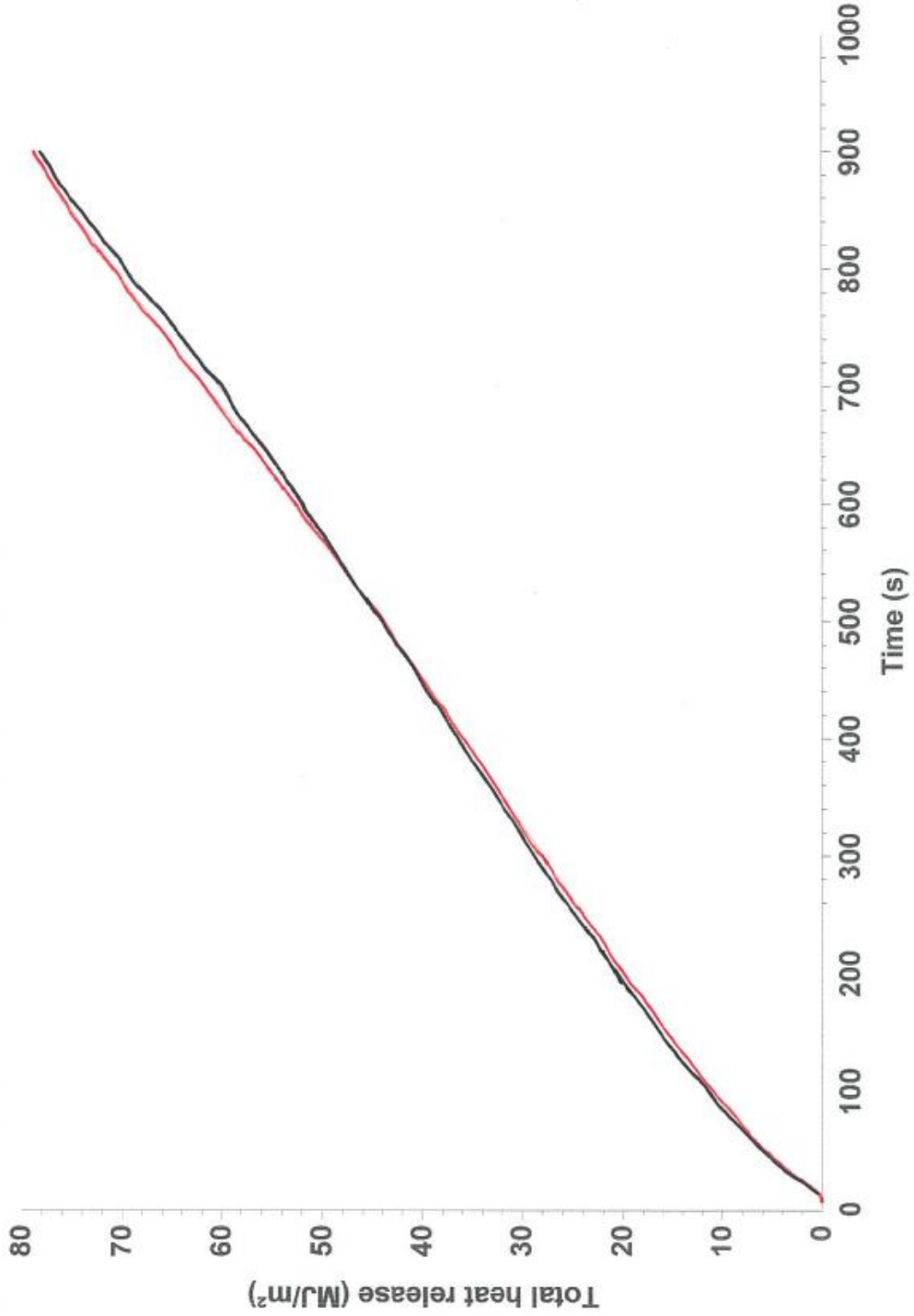
The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

Seite 4



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 4 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



Serie 4

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Cone Calorimeter Test Report




Laboratory name	bachelorprosjekt		
Operator	amalie og brit		
Sponsor			
Manufacturer			
Sample description	wood humidity	Report name	wood humidity serie 5
Material name/ID	pine	Surface area	100 cm ²
Heat flux	50 kW/m ²	Retainer frame used?	Yes
Orientation	Horizontal		

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	13.7	946.3	926.7	175.36	25	86.30	144.66	113.77	102.84
1	14	967	945	192.40	25	84.33	157.49	117.72	103.80
2	17	905	885	172.64	25	79.88	139.79	109.85	99.48
3	10	967	950	161.04	25	94.70	136.72	113.74	105.23

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g)	Ave MLR (g/s·m ²)	EHC(av) (MJ/kg)
Mean		19		87.8	167.1	99.5	67.6	7.3	12.73
1	50	19	100	85.35	78.7	10.3	68.4	7.3	12.27
2	50	19	100	87.56	207.6	142.2	65.5	7.4	12.15
3	50	19	100	90.38	214.9	146.1	68.8	7.2	13.76

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	30.39	55.96	-	0.0414	559.05	9.83	127.29
1	30.65	55.33	-	0.0844	1149.19	9.88	137.40
2	29.45	54.02	-	0.0414	550.21	9.12	120.76
3	31.06	58.53	-	-0.0016	-22.25	10.48	123.71

Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	11/03/2016	1		C:\CC5\DATA\16010015.CSV
2	11/03/2016	2		C:\CC5\DATA\16010016.CSV
3	11/03/2016	3		C:\CC5\DATA\16010017.CSV

14,267.

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



serie 5

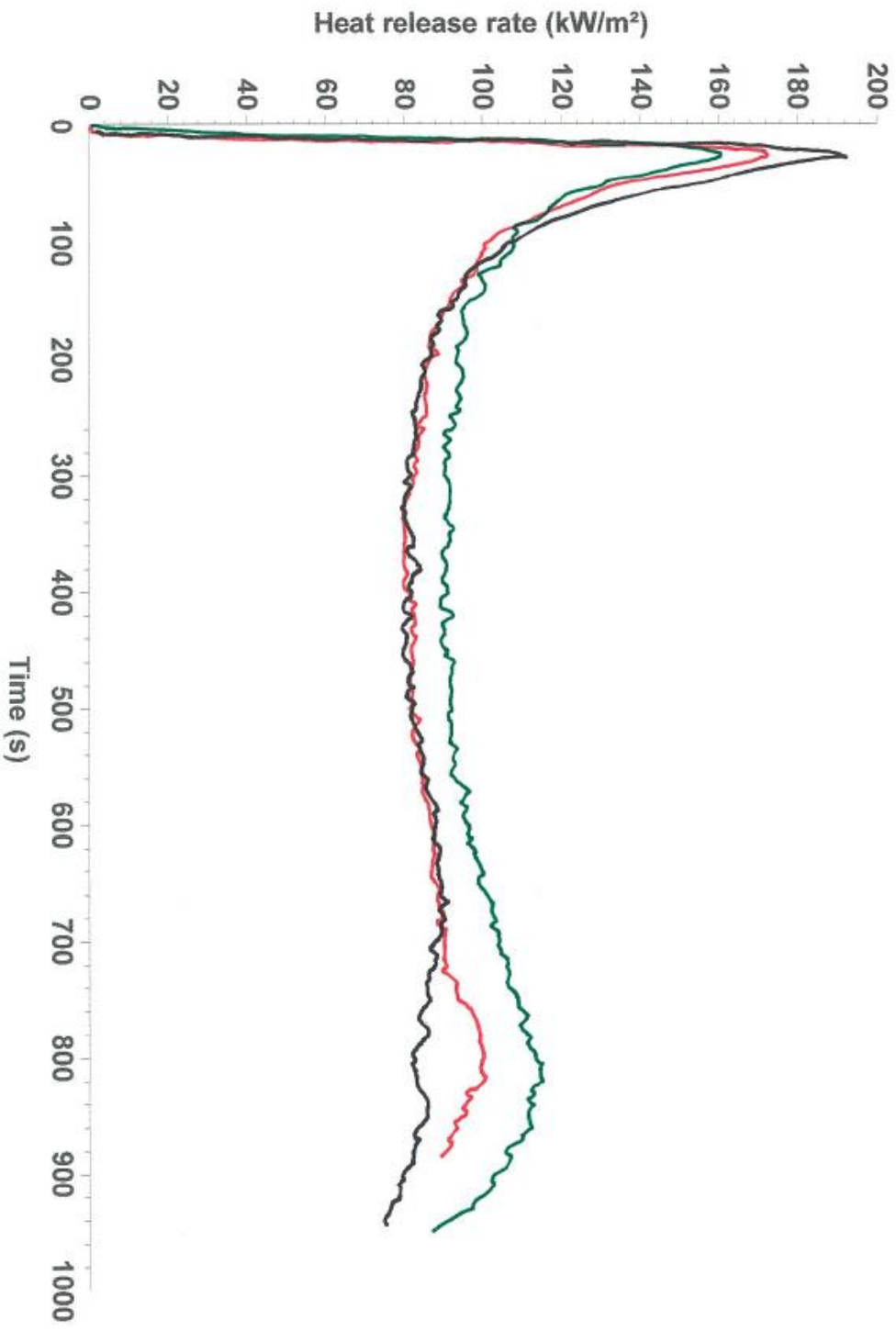
Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 5

Sample description: wood humidity

Material name/ID: pine

Heat flux: 50 kW/m²

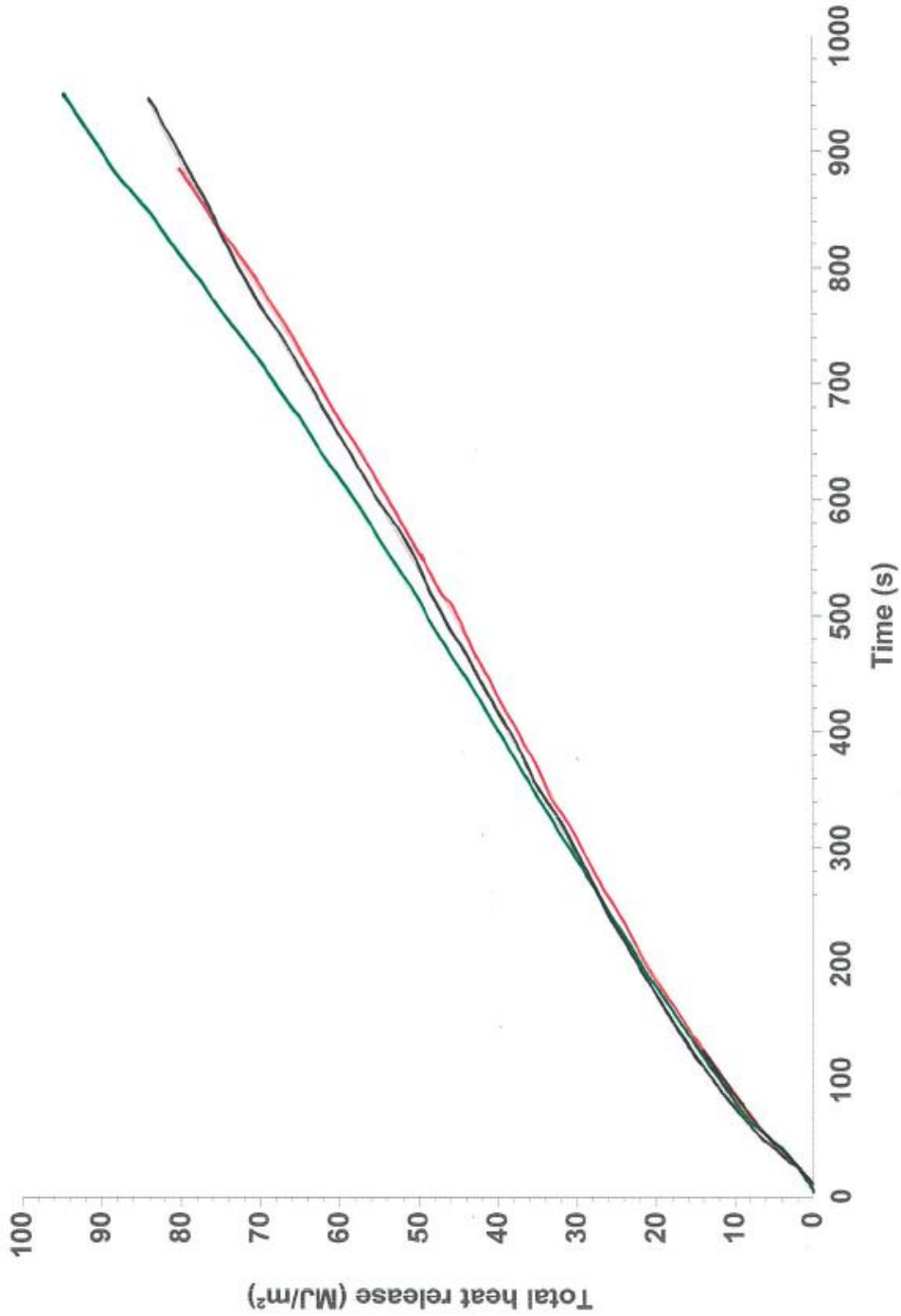


The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 5 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



serie 5

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.



Cone Calorimeter Test Report

Laboratory name	bachelorprosjekt		
Operator	amalie og brit		
Sponsor			
Manufacturer			
Sample description	wood humidity		
Material name/ID	pine	Report name	wood humidity serie 6
Heat flux	50 kW/m ²	Surface area	100 cm ²
Orientation	Horizontal	Retainer frame used?	Yes

Test averages

Test	t(ig) (s)	t(fo) (s)	t(end) (s)	HRR(peak) (kW/m ²)	tpeak (s)	THR (MJ/m ²)	HRR(60) (kW/m ²)	HRR(180) (kW/m ²)	HRR(300) (kW/m ²)
Mean	8.7	627.7	715	210.80	15	67.05	157.57	124.19	113.14
1	9	961	940	227.05	15	88.09	176.92	136.46	121.21
2	11	922	905	204.57	15	77.92	137.91	108.79	100.40
3	6		300	200.78	15	35.15	157.87	127.32	117.79

Test	Flux (kW/m ²)	t (mm)	Area (cm ²)	m(i) (g)	m(s) (g)	m(f) (g)	Δm (g)	Ave MLR (g/s·m ²)	EHC(av) (MJ/kg)
Mean		19		75.2	128.0	78.8	49.2	7.5	13.44
1	50	19	100	77.93	188.4	124.9	63.5	6.9	13.76
2	50	19	100	74.38	183.9	126.2	57.7	6.7	13.44
3	50	19	100	73.31	11.7	-14.7	26.5	8.8	13.12

Test	THR(0-300) (MJ/m ²)	THR(0-600) (MJ/m ²)	THR(0-1200) (MJ/m ²)	SPR(av) (m ² /s)	SEA(av) (m ² /kg)	Fuel load (MJ/kg)	MARHE (kW/m ²)
Mean	34.19	61.78	-	0.0010	6.06	8.86	164.62
1	36.41	63.01	-	0.0021	30.34	11.30	178.45
2	30.53	58.09	-	-0.0054	-83.88	10.48	147.72
3	35.62	64.23	-	0.0065	71.73	4.80	167.69

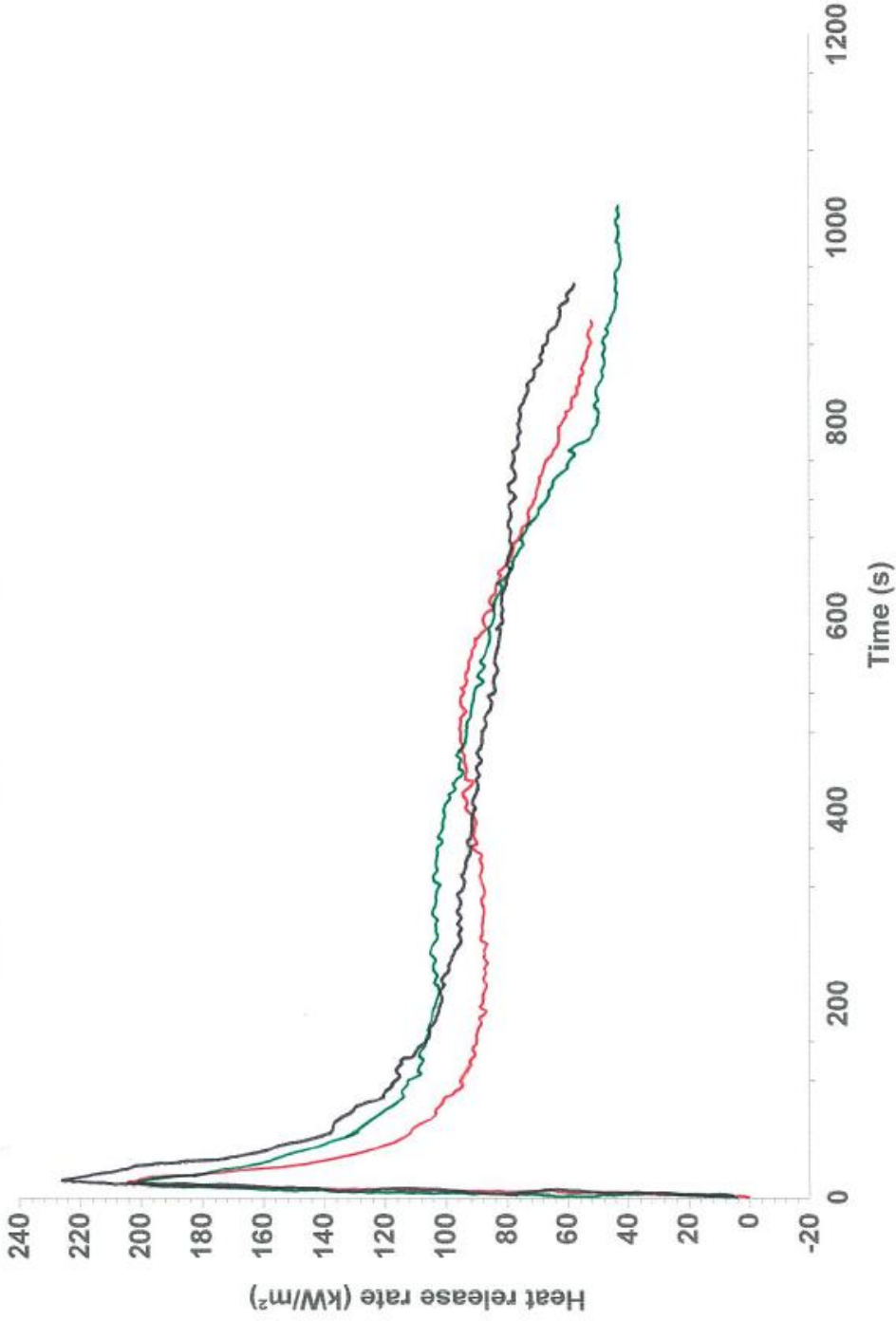
Test	Date	Specimen #	Line colour	Filename
1	11/03/2016	1		C:\CC5\DATA\16010018.CSV
2	11/03/2016	2		C:\CC5\DATA\16010019.CSV
3	11/03/2016	3		C:\CC5\DATA\16010020.CSV

2,257-



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 6 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



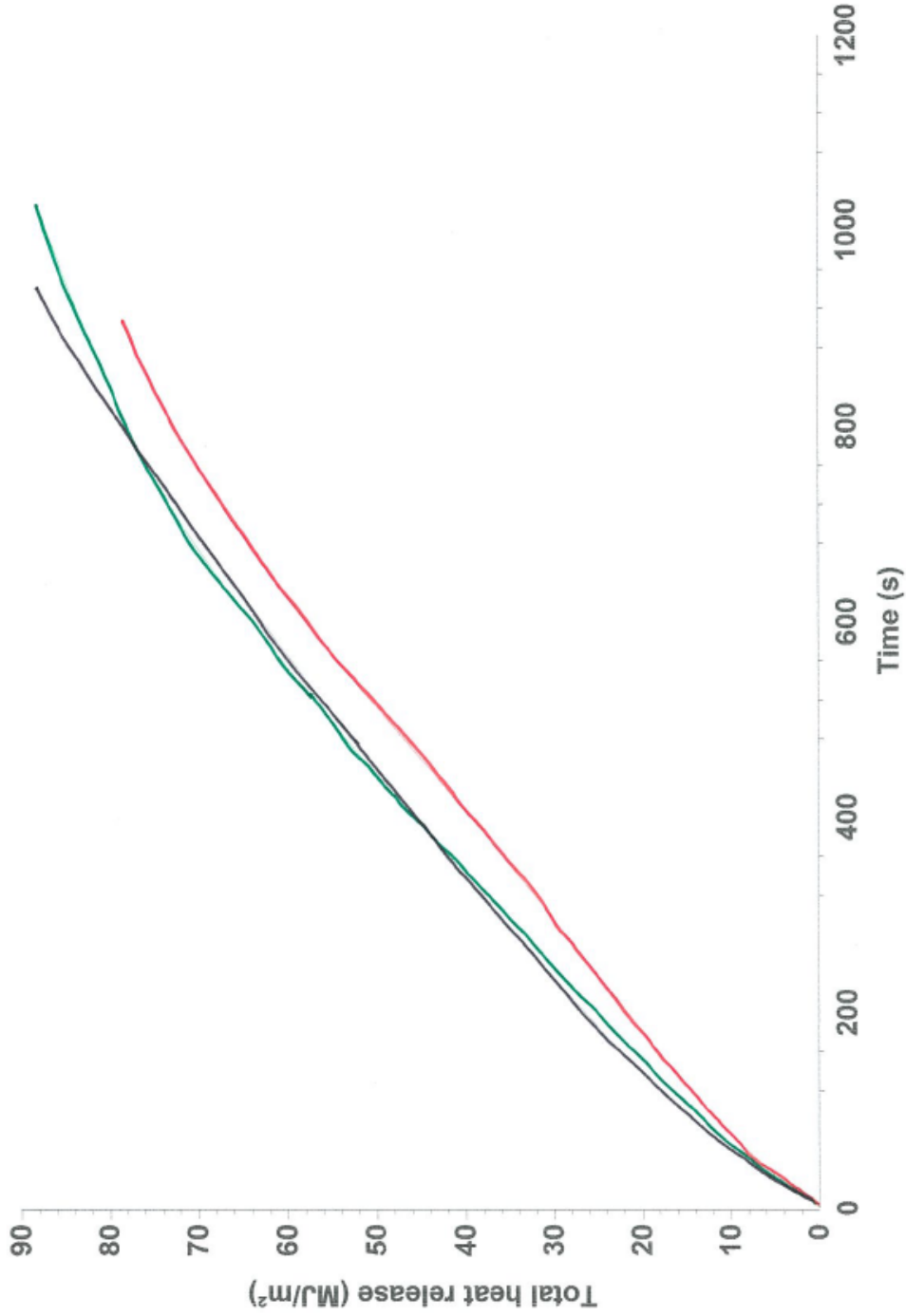
The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.

serie 6



Report produced with the Fire Testing Technology ConeCalc software

Report name: wood humidity serie 6 Sample description: wood humidity Material name/ID: pine Heat flux: 50 kW/m²



serie 6

The test results relate to the behaviour of the test specimens of a product under the particular conditions of the test; they are not intended to be the sole criterion for assessing the potential fire hazard of the product in use.