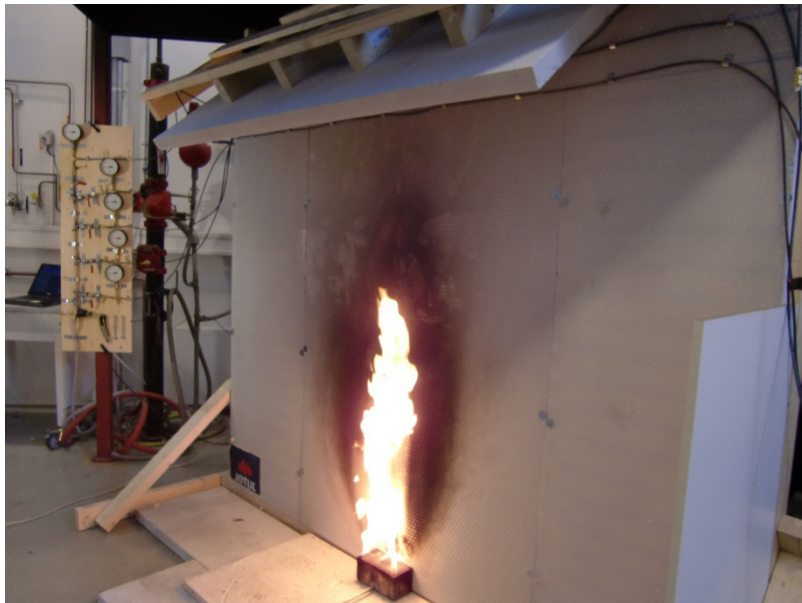


Utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger



Hovedprosjekt utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – ATØM – Ingeniørfag

Studieretning: Brann

Av: Vivi Rygnestad Helgesen

Kandidatnr. 25

Haugesund

Våren 2013



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



HOVEDPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Vivi Rygnestad Helgesen

Linje & studieretning Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel: *Utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger.*

Oppgavetekst:

Ved brannsikring av verneverdige bygninger eller tett trehusbebyggelse utgjør utvendige branner en risiko. Det er svært viktig at utvendige branner detekteres tidlig slik at et slokkeanlegg og/eller en alarm kan løse ut for å begrense skadeomfanget. Brannsikring av verneverdige bygninger er spesielt utfordrende da de branntekniske installasjonene ikke skal være skjemmende eller utgjøre store inngrep i bygningens uttrykk.

Som en følge av fokus på utvendig deteksjon etter en serie påsatte branner på 90-tallet ble brannslukkingssystemet Pneumatisk Varme Detekterende Linje tatt i bruk. Systemet består av en trykksatt slange som smelter og frigir trykket slik at en alarm eller et brannslukkingssystem kan løse ut. Noen av disse systemene ble montert for 15 år siden. Plasseringen ble ofte gjort etter et arkitektonisk perspektiv og optimal plassering med tanke på brannsikkerhet ble ikke dokumentert.

Denne oppgaven vil ta for seg testing av PVDL i form av laboratorieforsøk. I forbindelse med testene må det utarbeides et standard testoppsett som sikrer sammenlignbare resultater. I testingen ønskes det å kartlegge optimal plassering av deteksjonslinjen under et raft, og hvordan egenskapene til systemet har blitt påvirket av klimapåvirkninger over tid.

Endelig oppgave gitt: *Fredag 15. mars*

Innleveringsfrist: *Fredag 24 .mai 2013 kl. 12.00*

Intern veileder: *Bjarne Paulsen Husted*

Ekstern veileder: *Karin Axelsen*
Adresse ekstern veileder: *Riksantikvaren*
Dronningensgate 13
Pb. 8196 Dep.
0034 Oslo

Godkjent av studieansvarlig:
Dato:

B. Furber
20/4 - 13

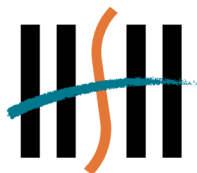


HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND





HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



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 Utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger		Rapportnummer <i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av Vivi Rygnestad Helgesen		
Linje Sikkerhet, Brannteknikk	Studieretning Ingeniør	
Gradering Åpen	Innlevert dato 22.05.2013	Veiledere Bjarne Paulsen Husted, Karin Axelsen

Ekstrakt

Det ble bygget en fullskala testvegg for branntesting av linjedeteksjonssystemer. Hensikten var å svare på om alder på deteksjonssystemet Pneumatisk Varmedetekterende linje hadde noe å si på deteksjonstid. Videre skulle optimal plassering av linjene bestemmes. Det ble sett på hvor hurtig en brann detekteres og ved hvilken temperatur systemet løste ut. For å teste slangene ble en brann på 30 kW plassert helt inntil veggen, og systemet trykksatt til 3,5 bar. Tid fra antennelsestidspunkt til deteksjonstidspunkt ble målt. Det ble montert 5 linjer, 3 langs vegg og 2 under raft. Fjorten forsøk som testet de fem ulike plasseringene for deteksjonslinjene ble utført. Resultatene viste at det ikke var signifikant forskjell på deteksjonslinjer av gammel og ny type. Den plasseringen som løste ut raskest ved stabile testbetingelser var plasseringen som lå nærmest brannkilden langs vegg. Ved mindre stabile testbetingelser forårsaket av trekk løste linjen langs vegg oppunder raft ut først. Linjen plassert ytterst på raftet viste seg å løse ut betydelig senere enn de øvrige linjene i alle forsøkene. For å bestemme utløsningstemperatur ble det laget en modell som kunne beregne dette. Beregninger basert på målte resultater viste at deteksjonsslangene hadde en utløsningstemperatur på mellom 80 og 90 grader.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND





Førord

Hovedprosjektet er en avsluttende del av den 3-årige branningeniørutdanningen ved Høgskolen i Stord/Haugesund. Emnet teller 15 studiepoeng og består av en rapport og en muntlig presentasjon.

Underveis i oppgaven har jeg mottatt hjelp å støtte fra flere personer. I forbindelse med dette ønsker jeg å takke:

- Bjarne Paulsen Husted, førsteamanuensis ved Høgskolen i Stord/Haugesund, som har vært intern veileder. Husted har satt av svært mye tid og ressurser til oppfølging av prosjektet. Bjarne har vært involvert i alle deler av prosjektet og kommet med innspill på beregninger, testoppsett, utførelse av forsøk, bearbeiding av resultater og drøfting av oppgaven.
- Karin Axelsen, Riksantikvaren, som har vært ekstern veileder. Spesielt vil jeg takke for omvisningen ved Gol Stavkirke og innspill på utforming av testoppsettet, samt dekking av utgifter for materialer til bygging av testoppsettet.
- Terje Øverby, COWI, for mye nyttig og relevant informasjon. Øverby har bidratt med flere innspill rundt testoppsettet. Jeg ønsker også å takke for materialene til testingen.
- Ingrid Staurheim, Kirkelig arbeidsgiver- og interesseorganisasjon statistikk og informasjon.
- Bjarne Christian Hagen, høgskolelektor ved Høgskolen i Stord/Haugesund, for uvurderlige innspill og kritiske tilbakemeldinger på rapporten.
- Arjen Kraaijeveld, høgskolelektor ved Høgskolen i Stord/Haugesund, for praktiske og kreative tilnærminger til testoppsett samt anskaffelse av materialer.
- Jøtul, for sponning av ubrennbare brannmursplater, JGFW-5 (122 cm x 244 cm x 5 cm) til testoppsettet.
- Vladimir Gillstrøm for generøst utlån av verktøy.
- John Magne Røe, Svein Erik Schmall, og Liv Astrid Bergsager for hjelp i laben.
- Alle som har vært tilstede under forsøkene og holdt meg med selskap.

Haugesund 24.05.2013

Vivi Rygnestad Helgesen



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND





Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Figur-liste.....	5
Symbolforklaring.....	7
Sammendrag.....	9
1. Innledning.....	11
1.1. Bakgrunn.....	11
1.2. Problemstilling.....	12
1.3. Metode.....	12
1.4. Avgrensninger.....	12
2. Litteratursøk og prinsipper for branndeteksjon.....	13
2.1. Tidligere arbeid.....	13
2.2. Branndeteksjon.....	14
2.3. Scenariobeskrivelse.....	18
3. Modeller for beregning av utløsning for PVDL-slangene.....	19
3.1. Flammeteori.....	19
3.2. Brann inntil vegg.....	22
3.3. Beregning av temperatur og hastighet i røyksøylen.....	24
3.4. Varmeoverføring til slangen.....	26
3.5. Lumped heat capacity – teoretisk beregning av utløsningstid.....	29
3.6. Lumped heat capacity – beregning av utløsningstemperatur basert på temperaturmålinger fra forsøk.....	31
4. Testoppsett.....	34
4.1. Vegg.....	34
4.2. Brannstørrelse og brenner.....	36
4.3. Prøveforsøk.....	38
4.4. Plassering av deteksjonslinjer.....	39
4.5. Deteksjonslinjer.....	40
4.6. Deteksjonslinje med luft.....	42
4.7. Testprosedyre.....	44
5. Resultater fra forsøk.....	45
5.1. Temperaturmåling under forsøk.....	45
5.2. Plassering av brudd langs slangen.....	47



5.3.	Utløsningstid for gammel og ny slange	48
5.4.	Sammenligning av teoretisk og målt utløsningstid	51
5.5.	Målt temperatur med termoelement ved utløsning	52
6.	Beregning av slangetemperatur ved utløsning	55
6.1.	Beregning av slangetemperatur ved utløsning basert på målte temperaturer	55
6.2.	Anbefaling	58
7.	Konklusjon	59
8.	Referanser	62
I.	Temperaturmålinger	I
II.	Utrekninger	IX
III.	Tube etter forsøk.....	XI
IV.	Montering av testvegg	XIX
V.	Utdrag fra Alan J. Chapman – Fundamental of heat transfer.	XXII
VI.	Forskjell på responstid for tykke og tynne termoelementer.	XXIII
VII.	Sensitivitetsanalyse	XXV
VIII.	Produktblad, Scamotek brannmursplater.....	XXVII
IX.	Måling av lufthastighet ved plassering 2.....	XXVIII



Figur-liste

Figur 1: Plassering av deteksjonslinje under raft (Foto: Terje Øverby, COWI, 2011).....	16
Figur 2: Plassering av deteksjonslinje under raft (Foto: Terje Øverby, COWI, 2010).....	16
Figur 3: Montering av deteksjonslinje under raft (Foto: Terje Øverby, COWI, 2011).....	17
Figur 4: Montering av PVDL langs vegg (Foto: Terje Øverby, COWI, 2011).	17
Figur 5: Illustrasjon av en forblandet flamme og en diffusjonsflamme.	20
Figur 6: Flamme og røyksøyle.....	21
Figur 7: Brannkilde inntil vegg.	22
Figur 8: Virtuelt origo.	24
Figur 9: Testvegg sett fra siden med dimensjoner. (Vindskjermen er ikke tatt med i figuren for å vise oppsettet bedre.)	35
Figur 10: Testvegg sett forfra. På høyre side er det satt på en vindskjerm for å stabilisere flammen.	35
Figur 11: Testvegg og reisverk sett fra baksiden.	36
Figur 12: Utstyr for måling av propanstrøm. I forsøkene stod innstrømmen på 110 mm, hvilket tilsvarte en effekt på 30 kW.	38
Figur 13: Termoelement- og slangeplassering målt langs senterlinje fra brannkildens overflate. Plasseringen av slanger og termoelementer er her nummerert fra 1 til 5, hvilket samsvarer med nummerering av beregninger og temperaturlogging.	39
Figur 14: Plassering av termoelementer, 1mm og 0,5 mm. Før hvert forsøk ble termoelementene justert slik at de stod 6 mm ut fra veggen.....	40
Figur 15: Plassering av termoelementer (senter). Deteksjonslinjene ble montert med slangeklemmer (sider) slik at de lå ovenfor termoelementene.....	41
Figur 16: Testoppsett under forsøk.....	42
Figur 17: Overvåkningsstasjon for trykk.....	43
Figur 18: Tid-Temperatur kurve for forsøk 5. Temperaturstigningen viser et forsøk lite påvirket av trekk i rommet.....	45
Figur 19: Tid-Temperatur kurve for forsøk 6. Testen ble påvirket av trekk noe som resulterte i en tregere temperaturstigning enn ved øvrige forsøk.....	46
Figur 20: Typisk brudd på deteksjonsslangene.	47



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND





Symbolforklaring

Symbol	Benevning	Beskrivelse
A	[m ²]	Areal
A_s	[m ²]	Slangens overflateareal
Bi	[-]	Biot-tallet
c_p	[kJ/(kg K)]	Spesifikk varmekapasitet
D	[m]	Diameter på brannkilde
d_s	[mm]	Ytre diameter på slange
d_i	[mm]	Indre diameter på slange
g	[m/s ²]	Gravitasjonskonstanten
h	[W/ m ² K]	Varmeoverføringstall
\bar{h}_{T_F}	[W/m ² K]	Gjennomsnittlig varmeoverføringstall ved filmtemperatur
k	[W/m K]	Varmeledningsevne
k_{T_F}	[W/m ²]	Konduktivitet ved filmtemperatur
L	[m]	Flammehøyde, også lengde
\dot{m}	[kg/s]	Massetapsrate
\overline{Nu}_d	[-]	Gjennomsnittlig Nusselts tall rundt en sylinder
r_i	[mm]	Slangens indre radius
r_s	[mm]	Slangens ytre radius
Re	[-]	Reynolds tall
t	[s]	Tid
T_F	[°C]	Filmtemperatur
T_s	[°C]	Overflatetemperatur
$T(t)$	[°C]	Tidsavhengig temperatur
T_u	[°C]	Utløsningstemperatur
T_∞	[K]	Omgivelsestemperatur
u_0	[m/s]	Lufthastighet i røyksøylen
V	[m ³]	Volum
\dot{Q}	[kW]	Branneffekt
\dot{Q}_C	[kW]	Konvektivt varmebidrag
\dot{q}''	[kW/m ² s]	Varmeoverføring
\dot{q}_{cond}	[kW/s]	Varmeoverføring ved varmeledning
\dot{q}_{conv}	[kW/s]	Konvektiv varmeoverføring



z	[m]	Høyde fra brannkilde
z_0	[m]	Virtuelt origo
ΔH_c	[kJ/g]	Forbrenningsvarme
ΔH_{eff}	[kJ/g]	Effektiv forbrenningsvarme
ΔT	[°C]	Temperaturrendring
ν_T	[m ² /s]	Temperaturbestemt kinematisk viskositet
ρ_∞	[m ³ /kg]	Tetthet ved omgivelsestemperatur
χ	[-]	Forbrenningseffektivitet



Sammendrag

Oppgaven tar for seg utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger. Etter mange påsatte branner på 90-tallet ble det bevilget midler til brannsikring av verneverdige bygninger. Et av problemområdene var hvordan en utvendig brann skulle kunne detekteres raskest mulig. I forbindelse med dette ble deteksjonssystemet Pneumatisk Varmedetekterende Linje (PVDL) montert. Flere av systemene har stått utendørs i over 15 år, og det var uvisst hvilken påvirkning dette hadde hatt på deteksjonsegenskaper.

Det var ingen definerte testoppsett for linjedeteksjon. I forbindelse med oppgaven ble det derfor utviklet et testoppsett for utvendig montering av linjedeteksjon innunder et raft. Testoppsettet ble benyttet til å svare på tre problemstillinger:

- Hvor vidt det er forskjell på egenskaper av PVDL som har vært utsatt for værpåkjening i forhold til PVDL av nyere dato.
- Hva som er optimal plassering av en linjedetektor for å oppnå kortest mulig deteksjonstid ved en eventuell brann.
- Hvor hurtig en brann detekteres, og ved hvilken temperatur deteksjonssystemet utløses.

Det ble utført en serie á 14 forsøk med 5 deteksjonslinjer per forsøk. Linjene ble plassert 3 steder oppe på vegg, midt på og ytterst på raftet. I testene ble det benyttet en propanbrenner med en effekt på 30 kW som ble plassert helt inntil veggen. Linjene ble trykksatt til 3,5 bar og tiden fra antennelsestidspunkt til utløsningstid ble målt.

For å se på hvor vidt egenskapene til PVDL hadde blitt påvirket av aldring utendørs i vær og vind ble det utført en statistisk analyse av utløsningstidene ved de forskjellige plasseringene. Analysen viste ingen forskjell i utløsningstiden for ny og gammel slange.

Under testene ble deteksjonstiden loggført. Resultatene ble sammenlignet og viste at linjen som lå nærmest brannoverflaten langs vegg løste ut raskest. Denne plasseringen detekterte i flere tilfeller brannen på rundt 30 sekunder. Når testoppsettet ble påvirket av trekk var det gjerne linjen øverst på vegg som detekterte raskest, trolig fordi raftet bidro til å samle opp varme. De fleste linjene hadde løst ut i løpet av 2 minutter, mens linjen montert ytterst på raft løste ut betydelig senere enn de øvrige linjene. Det ble konkludert med at en plassering ytterst på raftet ikke er gunstig for tidlig deteksjon.

Det ble laget to beregningsmodeller for bestemmelse utløsningstid og utløsningstemperatur. Den rent teoretiske modellen gav for hurtig utløsningstid, den semi-empiriske modellen gav også en for hurtig utløsningstid, men lå nærmere de observerte resultatene.

Videre ble teoretiske beregninger gjort for å bestemme utløsningstemperatur. Det ble laget en modell som benyttet temperaturmålinger fra forsøkene for å beregne utløsningstemperatur for linjene. Beregningsresultater viste at systemet trolig hadde en utløsningstemperatur på mellom 80 og 90 grader.



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND





1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Norge har en rik kulturarv, og noen av de ypperste byggverkene som er skapt innenfor vårt kulturområde er Stavkirkene. Med unntak av Hedared kirke i Sverige og Greenstand kirke i England er det kun i Norge de spesielle stavkirkene fortsatt finnes. Det antas at det eksisterte omtrent 1500 stavkirker i middelalderen, av disse er det kun 28 igjen (Riksantikvaren, 2013). Stavkirkene står som eksempler på ulike typer håndverksepoker, men de representerer også tradisjon og identitet. De siste 1000 år har kirkebygg vitnet om arkitektur- og håndverkshistorie, kunsthistorie, kirkehistorie og samfunnsutvikling, hvilket fremmer vår kulturarv (Staurheim, 2011). I stortingsmelding nr. 35 fra 2008/2009 var et av målene å forebygge at det inntraff branner som resulterte i tap av uerstattelige kulturhistoriske verdier. Det ble bevilget 77 millioner kroner med mål å brannsikre kulturminner, deriblant fredede bygninger, tette trehusmiljøer og kirker (Det kongelige justis- og politdepartement, 2009).

Mellom 1992 og 1994 brant nesten 40 kirker, de fleste av disse brannene var påsatt (Sulheim, 2000). En av disse brannene rammet Fantoft stavkirke utenfor Bergen i 1992. Etter brannen ble det satt i gang et omfattende arbeid fra Riksantikvaren for å sikre stavkirker, som resulterte i en økt bevilgning av midler til brannsikring disse byggene (Riksantikvaren, 2012). Et av sikringstiltakene var å installere linjedetektorer på utsiden av bygningene med hensikt å detektere påsatte branner på et tidlig stadium.

Et av systemene som ble installert var trykksatte plastslanger av typen Pneumatisk Varme Detekterende Linje (PVDL) som ville perforeres ved en eventuell brann og resultere i registrert trykkfall. Ved branndeteksjon kunne slokkesystem eller en alarm løses ut. Flere av disse systemene har vært installert i mer enn 15 år, og det er oppstått tvil hvilken innvirkning vær og vind har hatt på systemets egenskaper. Videre har det vært en viss usikkerhet rundt hvor godt dette systemet fungerer med tanke på optimal plassering og utløsningstid.

Under startfasen av prosjektet ble det gjennomført en befaring ved Gol stavkirke, på Bygdøy folkemuseum i Oslo. Under befaringen ble det gitt en omvisning på bygningene samt en grundig gjennomgang av brannsikringstiltakene på området. Under befaringen ble det observert at selv små inngrep kan oppfattes som skjemmende på et autentisk bygg. For å beholde et autentisk uttrykk på bygningene er det svært viktig å finne branntekniske løsninger som ikke vil være skjemmende. En av fordelene med linjedeteksjon er at den ved plassering for eksempel innunder takutstikk ikke vil synes i stor grad.

Ved brannsikring av verneverdige bygninger er det svært viktig at bygningene ikke forringes av sikringstiltakene, da hensikten er å bevare byggene i sin autentiske tilstand i fremtiden. Krav om å ivareta kulturminner og kulturmiljøer er nedfelt i kulturminneloven, og regulerer hvilke inngrep som kan gjøres i fredede bygninger (Miljøverndepartementet, 2013). Riksantikvaren har overordnet ansvar for arbeid med kulturminner og kulturmiljøer.

Når kjente løsninger kan være til skade for bygningenes estetiske verdi, vil det i mange tilfeller være behov for å tenke nytt. Kombinasjon av forskjellige brannsikringstiltak er ikke uvanlig, og flere steder vil det kunne være behov for systemer med helt spesielle egenskaper. Pneumatisk Varme Detekterende Linje (PVDL) er et slikt system.



1.2. Problemstilling

Det er fokusert på funksjon og virkemåte av Pneumatisk Varme Detekterende Linje på tre områder:

- Hvor vidt det er forskjell på egenskaper av PVDL som har vært utsatt for værpåkjennning i forhold til PVDL av nyere dato.
- Hva som er optimal plassering av en linjedetektor for å oppnå kortest mulig deteksjonstid ved en eventuell brann.
- Hvor hurtig en brann detekteres, og ved hvilken temperatur deteksjonssystemet utløses.

1.3. Metode

For å lage undersøkelsen er det valgt å lage et fullskala testoppsett for å teste deteksjonsslangene og besvare de tre spørsmålene i problemstillingen. Det er gjort beregninger på utløsningstemperatur og deteksjonstid både med utgangspunkt i teori og målte temperaturer under forsøkene. En alternativ metode er å lage en brannteknisk simulering av testoppsettet, men dette vil bli en tilnærming til virkeligheten og ikke nødvendigvis være like pålitelig. Tidligere er det blitt gjort omfattende simuleringer av liknende testoppsett for å finne ut optimal plassering, men det er ikke blitt sett på plassering av slangene mot et fysisk testoppsett. Det vil heller ikke være mulig å se på hvilken effekt aldring har hatt på slangens egenskaper ved hjelp av datamodeller.

1.4. Avgrensninger

Forsøkene er gjort innendørs i et laboratorium for å få et godt sammenligningsgrunnlag på de to slangene.

Siden testene har blitt utført innendørs har det ikke blitt tatt hensyn til påvirkning fra vær og vind, og deteksjonstiden vil trolig være lengre utendørs.

Testoppsettet er oppført i ubrennbart materiale og tar derfor ikke hensyn til flammespredning oppover veggen.

Det finnes mange forskjellige linjedeteksjonssystemer. Denne rapporten ser imidlertid kun på linjedeteksjonssystem med trykksatte slanger av typen PVDL.

Det er ikke tatt hensyn til at brannen utvikler seg over tid. Som brannkilde har det blitt benyttet en konstant effekt på 30 kW.



2. Litteratursøk og prinsipper for branddeteksjon

Utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger har spesielt vært et tema siden bølgen av påsatte branner på 90-tallet. Det ble satt i gang omfattende arbeid i etterkant av hendelsene, og flere typer systemer ble prøvd ut. Mye av dokumentasjonen viste seg imidlertid vanskelig å oppdrive da den ikke var lagret elektronisk. I forkant av utviklingen av testoppsettet ble tidligere arbeid med lignende problemstillinger gjennomgått for å få innspill på faktorer som kunne være viktige å tenke på ved utformingen. Som grunnlag for testingen har det blitt tatt utgangspunkt i en del tester som ble gjort ved SP i Sverige (Andersson, Persson, & Tuovinen, 2006). Rapporten fra prosjektet er gjengitt kort i avsnitt 2.1.

I avsnitt 2.2 blir de viktigste deteksjonsprinsippene nevnt, for å gi en forståelse av virkeområdet til linjedeteksjon.

Ved å se på tidligere arbeid var det mulig å evaluere hvilket brannscenario som var gunstig å bruke for å kunne svare på endring i egenskaper deteksjonskabler som var utsatt for værpåkjenninger, deteksjonstid og –temperatur, samtidig som optimal plassering kunne bestemmes. Betragtninger rundt brannscenarioet er nevnt i avsnitt 2.3.

2.1. Tidligere arbeid

I 2006 ble en serie med datasimuleringer og laborietester utført ved SP i Sverige for å utarbeide generelle retningslinjer for installasjon av varmedeteksjonskabler på ytterfasader (Andersson, Persson, & Tuovinen, Råd för installation av varmedetektionskablar på ytterfasad, 2006).

Bakgrunnen for arbeidet var problematikk rundt utvendige, påsatte branner. Med utgangspunkt i utvendige deteksjonssystemer skulle det kartlegges hvilke parametere som hadde stor innvirkning på utvendig linjedeteksjon.

Siden det ikke forelå standarder og dokumentasjon på utvendig bruk av linjedeteksjonssystemer var det stor usikkerhet rundt hvordan deteksjonskablene virket. Det ble derfor satt i gang et prosjekt som tok for seg brannsimuleringer og laborietesting av linjedetektorer på ytterfasader med et raft.

Ut fra simuleringene ble det fastslått at kledning ikke ville gi store utslag i deteksjonstid, derfor ble dette sett bort fra i videre testing. Simuleringen viste at brannens plassering i forhold til veggen gav store utslag på temperaturen under raftet. Det som viste seg å være den mest avgjørende parameteren i forhold til om kablene ville løse ut var høyde over brannen. Lengden på raftet spilte også inn på temperaturøkning. Raftet på 30 cm gav tilnærmet like resultater i forhold til temperaturendring som en vegg uten raft. Ved en lengde på 75 centimeter ble det observert at raftet innvirket på testene utført på en etasje. Ved to etasjer hadde det ingen innvirkning på deteksjonen.

Den optimale plasseringen ble fastslått å være så langt ned på veggen som mulig, så sant deteksjonskablene ikke plasseres mindre enn en meter fra brannkilden. Det ble påpekt at det også bør tas hensyn til at lav plassering vil åpne for at det kan skje hærverk. Ved lav



plassering ble det derfor anbefalt å montere kablene i ly av perforerte plater som ikke hindret varmen i og nå frem til kablene.

Dersom deteksjonslinjen ble plassert oppunder et raft ble det anbefalt at plasseringen ikke skulle lengre ut enn halvparten av raftets lengde, og da helst så nær veggen som mulig. (Andersson & Persson, 2006)

Med utgangspunkt problematikken rundt påsatte branner ved skoler er blitt laget en undersøkelse som sammenligner branntekniske simuleringer mot forsøk med varmedeteksjonskabler (Johansson, Walqvist, & Hees, 2012). I artikkelen ble det gjort branntekniske simuleringer for å forutsi utløsningstid for linjedetektorer. Simuleringene er blitt sammenlignet med små-skala og full-skala laboratorieforsøk gjort utendørs for å gi et bilde av usikkerheter som bør tas hensyn til i simuleringer. Artikkelen viste at FDS kunne benyttes til å forutsi utløsningstid for linjedeteksjonssystemer montert utvendig.

2.2. Branneteksjon

En brann utvikler røyk, varme og synlig flamme. Disse tre karakteristikker kan brukes til å detektere brann. Generelt vil den hurtigste branneteksjonen oppnås ved å se på enten røyk eller flamme, men samtidig er det større risiko for feilutløsning ved disse systemene. Feilutløsning skyldes ofte feilaktig valg av type system, og ikke nødvendigvis en defekt i systemet (Bryan, 1993, s. 348). Påliteligheten til et deteksjonssystem vil således være avhengig av egnethet mot det spesifikke bruksområdet. Eksempelvis vil en røykdetektor kunne forveksle vanddamp med røyk.

Systemer som detekterer varme er ofte robuste (har få feilutløsninger), men også langsommere (Johansson, Walqvist, & Hees, 2012). Et typisk eksempel på et system som reagerer på varme er sprinkleranlegg.

Det finnes flere typer systemer som benyttes for deteksjon av utvendig brann. Siden denne rapporten omhandler et bestemt linjedeteksjonssystem, er ikke disse systemene videre nevnt. For mer inngående beskrivelse av forskjellige systemer henvises det til rapporten *Minimum Invasive Fire Detection for Protection of Heritage* (Jensen, 2006).

Linjedetektorer ansees å være godt egnet for å brannsikre verneverdige bygg. Egenskaper som trekkes frem ved denne typen system er spesielt at systemet kan monteres slik at det er lite synlig, og dermed ikke skjemmende. De er gjerne enkle å vedlikeholde samtidig som de er pålitelige og kostnadseffektive (Jensen, 2006). En egenskap som er spesiell for linjedeteksjon er at systemet kan detektere langs hele sin lengde, og ikke bare på ett enkelt punkt. Systemene kobles gjerne opp slik at de løser ut en brannalarmsentral eller et slokkeanlegg ved deteksjon.

Det finnes flere typer linjedeteksjon. Noen av systemene er nevnt under og forklart etter hvilke prinsipper de basers på:

- Plastrør fylt med vann eller gass. Slangene fylles med vann, luft eller gass og løser ut som følge av trykkfall ved brudd.
- Kobberrør eller rør av rustfritt stål fylt med gass eller luft som løser ut ved trykkøkning som følge av oppvarming.



- Optiske fibre hvor signal sendes gjennom kretsen. Materiales evne til å overføre signal reduseres ved oppvarming. Deteksjon skjer når signalet gjennom kretsen blir dårlig.
- Smeltetråd. Her benyttes gjerne tinn eller bly da disse metallene har lavt smeltepunkt. En krets kobles opp mot en strømkilde og når den brytes på grunn av smelting detekteres en brann.
- Doble elektriske ledere som er adskilt med isolasjon. Ved brannpåkjenning smelter isolasjonen. Når de to kretsene møtes skjer en kortslutning slik at signalet i kretsen brytes og deteksjon finner sted.

Det finnes forskjellige fordeler for hvert system. De mest avanserte linjedeteksjonssystemene basert på elektriske kretser kan i tillegg til å detektere en brann også angi hvor deteksjon har funnet sted. Deteksjonssystemet til grunn for denne rapporten, PVDL, fungerer utelukkende mekanisk. I eldre bygninger der det ikke er ønskelig å legge inn elektrisitet vil et slikt anlegg være fordelaktig. Fravær av elektronikk gjør også systemet pålitelig dersom det skulle skje et strømbrydd. I noen tilfeller benyttes både elektriske og mekaniske systemer for økt redundans på brannsikringen.

Pneumatisk Varme Detekterende Linje (PVDL)

I forsøkene ble det benyttet Pneumatisk Varme Detekterende Linje. Slik navnet tilsier er det et linjedeteksjonssystem som baserer seg på gasstrykk. Ved brannpåkjenning perforeres slangen og det påfølgende trykkfallet fører til deteksjon. Systemet består av brannimpregnerte polyetylenslanger som trykksatt med Nitrogen. Deteksjonslinjen kan kobles opp mot en utløsermekanisme som knyttes opp mot en alarm eller et sprinkleranlegg. En gassflaske på 50 liter trykksatt slangen på inntil 5 bar. Når slangen varmes opp sprekker den slik at trykket faller. Under 3 bar løser systemet ut.

Den store fordelen med PVDL er at det utelukkende baserer seg på trykkfall. Siden systemet ikke er avhengig av en strømkilde vil det ikke påvirkes negativt dersom strømmen blir slått ut. Ved brannsikring av bygninger som gjerne ligger langt fra allfarvei vil denne egenskapen være en viktig sikring.

PVDL ble innført som brannsikringssystem i Norge på 90-tallet. Under utviklingen ble det raskt oppdaget at systemet var sensitivt for lekkasje. Det viste seg at trykket kunne bli redusert gjennom ventiler, mange skjøter så vel som gjennom slangeveggen. For å motvirke lekkasje ble det installert strupeventiler som sikret at trykket ble opprettholdt uten at systemets egenskaper for deteksjon ble påvirket.

Figur 1, Figur 2, Figur 3 og Figur 4 viser typisk plassering av PVDL på verneverdige bygg. Det bemerkes her at slangene er plassert ytterst på takutstikket i Figur 1 - Figur 3. I Figur 4 er deteksjonslinjen plassert helt oppunder takutstikket langs vegg. Denne forskjell i plassering og hvor vidt dette påvirker utløsningstid blir belyst senere i rapporten.



Figur 1: Plassering av deteksjonslinje under raft
(Foto: Terje Øverby, COWI, 2011).



Figur 2: Plassering av deteksjonslinje under raft
(Foto: Terje Øverby, COWI, 2010).



Figur 3: Montering av deteksjonslinje under raft (Foto: Terje Øverby, COWI, 2011).



Figur 4: Montering av PVDL langs vegg (Foto: Terje Øverby, COWI, 2011).



2.3. Scenariobeskrivelse

For verneverdige bygninger ble den største trusselen oppgitt å være påsatt brann. Et typisk scenario ville være en søppelcontainer eller annet tilgjengelig brensel i området som ble satt inntil en vegg og antent (KA, 2012). I Karlsson og Quintiere (2000, s. 26) vil en papirkurv som brenner tilsvare omtrent 100 kW. Det vil således være sannsynlig at en søppeldunk brukt til husholdningsavfall vil generere en langt høyere effekt. Avhengig av mengde brensel vil brannen kunne vedvare over lengre tid. Et slikt scenario vil kunne sees på som verst tenkelig i dette tilfellet, da brannen vil forvarme materialene og bidra til at flammene får godt tak i fasadekledning og i verste fall også underliggende konstruksjoner.

Et annet scenario som ble vurdert var antennelse med bensin. Andersson (2006) beskrev et scenario der brennende væske kastes på fasaden. Her vil brannen i stor grad bli overfladisk, og effekten vil avhenge av hvor stort område som eksponeres. Dersom brannen ikke får forvarmet materialene nok til at konstruksjonene begynner å bidra i brannen, vil denne trolig ikke vedvare.

Noe av hensikten med testene var å se på forskjeller i utløsningstid ut fra plassering av deteksjonskablene, samt endrede produkttegenskaper som følge av værpåkjening. Det var derfor å anse som mest hensiktsmessig å ha en brannkilde som genererte en temperatur rundt kablens smeltepunkt. Dokumentasjon om smeltepunkt på lignende systemer kunne opplyse om at smeltepunktet lå et sted mellom 80 og 135 grader celsius¹. En brann tilpasset brannscenarioet nevnt i avsnittet over ville generere en langt høyere temperatur, og ble derfor ikke benyttet.

Under prøvoforsøk ble det observert at en brann på 30 kW plassert inntil veggen utløste systemet på omtrent 30 sekunder og det ble valgt å bruke denne effekten i forsøkene. En større effekt ville gjort det vanskeligere å sammenligne utløsningstiden for de forskjellige plasseringene.

¹ Fra systemdokumentasjon som ble gitt i forbindelse med oppgaveskrivingen.



3. Modeller for beregning av utløsning for PVDL-slangene.

I innledningen ble tre problemstillinger nevnt. For å svare på to av disse ble det gjort en del fysiske beregninger. Ved å regne ut temperaturer ved de forskjellige plasseringene var det mulig å gjøre seg et bilde av hvordan et overheng spiller inn på akkumulering av varme gasser, når dette ble sett i sammenheng med forsøksdata. For å bestemme utløsningstemperatur var det nødvendig å gjøre fysiske beregninger på testscenarioet da dette ikke kunne måles direkte.

For å underbygge beregningene som har blitt gjort for å svare på problemstillingene blir det her gitt en innføring i det teoretiske grunnlaget som ligger bak. Kapittelet tar for seg generell teori om forbrenning og flammer, varmeoverføring og hvordan en brann påvirkes av nærliggende geometri. Videre beskrives temperaturberegninger og hvordan varmeoverføring fra en varm luftstrøm til et sylindrisk, termisk tynt, objekt kan bestemmes. Siste del gir en teoretisk modell for beregning av utløsningstemperatur på deteksjonskablene og beskriver hvordan målte temperaturer kan implementeres i en semi-empirisk modell for beregning av utløsningstemperatur.

3.1. *Flammeteori.*

For at en forbrenning skal finne sted må brensel og oksygen stå i forhold til hverandre. Dersom det er for mye brensel i forhold til oksygen vil ikke forbrenning kunne skje, og motsatt. Dette forholdet kalles brennbarhetsområdet, og varierer for forskjellige typer brensel (Drysdale, 2011, s. 29).

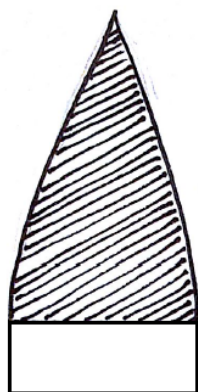
Innenfor branndynamikk nevnes to typer flammer: Forblandet flamme og diffusjonsflamme. Kjennetegn for de forskjellige flammetyperne beskrives av Hagen (2004, s. 193:199):

I en forblandet flamme blandes brensel og luft før forbrenningssonen. Forbrenningen kan sees som en blålig flamme der forholdet brensel:oksygen vil være tilnærmet støkiometrisk. Dette resulterer i en effektiv forbrenning der produktene vil være CO_2 og H_2O . En forblandet flamme vil avgi lite varmestråling, og temperaturen vil være høyere enn i en diffusjonsflamme. Forblandede flammer kan oppstå dersom en gassblanding lekker ut i et rom og så blir antent, og brukes også i sveiseapparater.

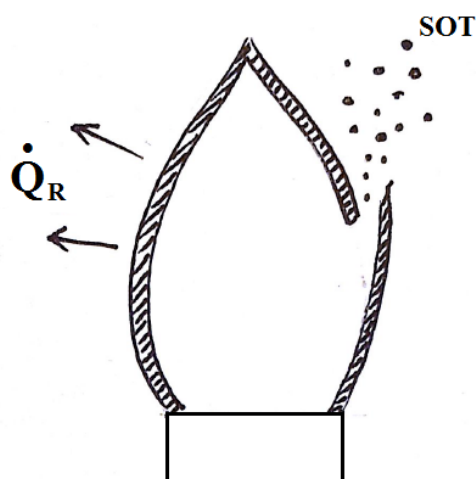
De fleste flammer vil karakteriseres som diffusjonsflammer. I en diffusjonsflamme blandes luft og brensel i forbrenningssonen. I motsetning til en forblandet flamme der forbrenningen skjer i hele flammen, vil forbrenningen i en diffusjonsflamme kun skje i et tynt sjikt der blandingen av brensel og oksygen er innenfor brennbarhetsområdet (se Figur 5). En diffusjonsflamme vil lettere påvirkes av trekk slik at flammen begynner å flakke. Når dette skjer vil uforbrente komponenter slippe ut av flammen. Ved ufullstendig forbrenning vil det produseres sot. Glødende partikler som slippes ut av flammen avgir varmestråling, noe som gir diffusjonsflammen en gul-oransje farge. Avhengig av brenselet vil andelen varmestråling variere, men for enkle kjemiske forbindelser regnes det ofte med et varmetap via varmestråling på omtrent 30 %.

En turbulent flamme kan grovt deles inn i 3 deler (Drysdale, An introduction to fire dynamics (3.ed.), 2011). Rett over brannkilden vil det alltid være en nokså stabil, vedvarende flamme. Her vil hastigheten øke i takt med høyden. Lengre opp i blir flammen mer ustabil. På grunn av kraftig turbulens når luft rives inn pulserer flammen. I den pulserende delen holder hastigheten seg tilnærmet konstant. I røyksøylen rives en stor andel kald luft inn slik at temperaturen synker kraftig med høyden. Her reduseres også lufthastighet. Inndelingen er skissert i Figur 6. I beregninger tas det gjerne utgangspunkt i senterlinjetemperatur, da hastighet og temperatur vil alltid være høyest langs senterlinjen. Avstand har ofte benevnelse z , og måles vertikalt fra senter av brannarealet.

FORBLANDET FLAMME

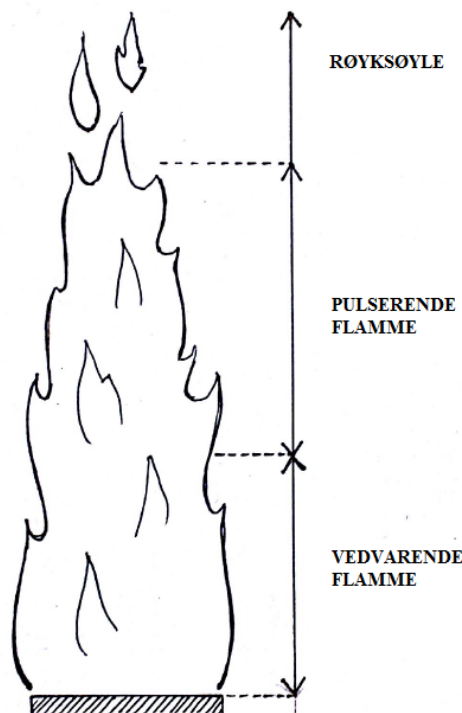


DIFFUSJONSFLAMME



 = FORBRENNINGSSONE

Figur 5: Illustrasjon av en forblandet flamme og en diffusjonsflamme.



Figur 6: Flamme og røyksøyle.

Varmeoverføring

Det finnes tre former for varmeoverføring, konvektiv varmeoverføring, varmeledning og varmestråling. Varmeoverføring er når temperaturforskjeller bidrar til å overføre energi fra et område med høy temperatur til et område med lav temperatur.

Varmeledning beskriver varmeoverføring i faste materialer. Når et materiale varmes opp vil varmen fordeles utover. Hvor raskt et objekt varmes opp avhenger av materialets konduktivitet. Høy konduktivitet forteller at et materiale leder varme godt, dette vil være fordelaktig med god varmeledningsevne i for eksempel termoelementer. Isolasjonsmaterialer på sin side vil gjerne ha lav konduktivitet.

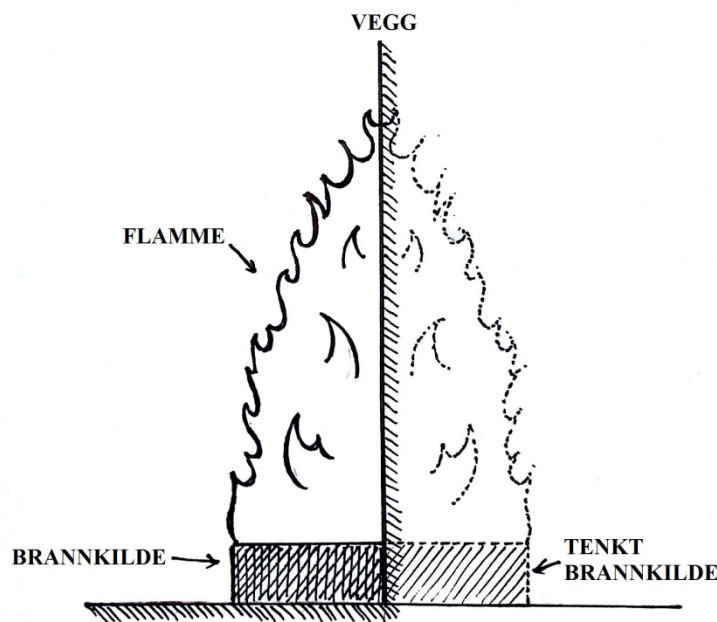
Varmestråling er varmeoverføring via elektromagnetiske bølger som beveger seg i lysets hastighet. Denne formen for varmeoverføring trenger ikke å bevege seg i et medium (Atreya, 2008) men kan like gjerne skje i vakuum. Et eksempel er varmeoverføring fra sola til jorda. Andel varmestråling vil være avhengig av andel sot som produseres under forbrenningen. Ved ufullstendig forbrenning vil en stor andel restkomponenter slippe ut av forbrenningssonen og resultere i mye sot som avgir en betydelig mengde varmestråling.

Konvektiv varmeoverføring beskriver varmeoverføring i fluider som beskrives som en kombinasjon av varmeledning og varmestråling (Atreya, 2008). Siden konveksjon er en viktig del av brannodynamikken sees den på som en egen transportform. Et varmt fluid har en lavere tetthet enn et kaldt fluid noe som fører til bevegelse. Konveksjon skjer når varme og kalde fluider blandes med hverandre som følge av temperaturforskjeller. Det konvektive

varmebidraget i en brann har ofte benevnelsen \dot{Q}_c der c står for convection (Karlsson & Quintiere, 2000, s. 64).

3.2. Brann inntil vegg

I testscenarioet ble brannkilden plassert inntil en vegg. Ved en fritt plassert brann vil luft strømme til fra alle sider. Når en brann plasseres inntil en vegg vil dette begrense inntrengning av luft til brenselet. For at forbrenningen skal skje søker flammen oppover langs veggene for å få tilgang til nok oksygen hvilket gir en kraftigere flamme. (Drysdale, An introduction to fire dynamics (3.ed.), 2011, s. 151:153). Teoretisk beskrives fenomenet ved en brann tilsvarende et dobbelt så stort brannareal, Denne effekten kan sees i Figur 7.



Figur 7: Brannkilde inntil vegg.

I forsøkene ble det benyttet en brenner med en effekt tilsvarende 30 kW. Plassert inntil vegg ble det antatt en brann på 60 kW for de videre beregningene.



Flammehøyde

Hagen beskriver flammehøyden som det området der flammen er representert 50 % av tiden (2004, s. 247). For en fri brann beskrives flammehøyden som en funksjon av brannens effekt og diameter. Likning (3.1) viser formel for beregning av gjennomsnittlig flammehøyde (Karlsson & Quintiere, 2000, s. 64):

$$L = 0,235\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (3.1)$$

Der L er flammehøyde, Q brannens effekt og D brannens diameter. Med utgangspunkt i veggens påvirkning på flammen kan effekten dobles for å gi flammehøyden til en brannkilde plassert inntil en vegg.

I testene ble det brukt en brenner som målte 10 cm x 20 cm. Siden det ofte opereres med diameter for sirkulære areal ble brennerens areal regnet om og uttrykt ved diameter, D . For en sirkel med tilsvarende areal, A kan diameteren gis ved.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

⇓

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

Uttrykket gir arealet til brenneren. Siden brannkilden kan antas doblet ved plassering inntil vegg (se Figur 7) kan diameter for brannscenarioet skrives som:

$$D = 2\sqrt{\frac{2A}{\pi}}$$

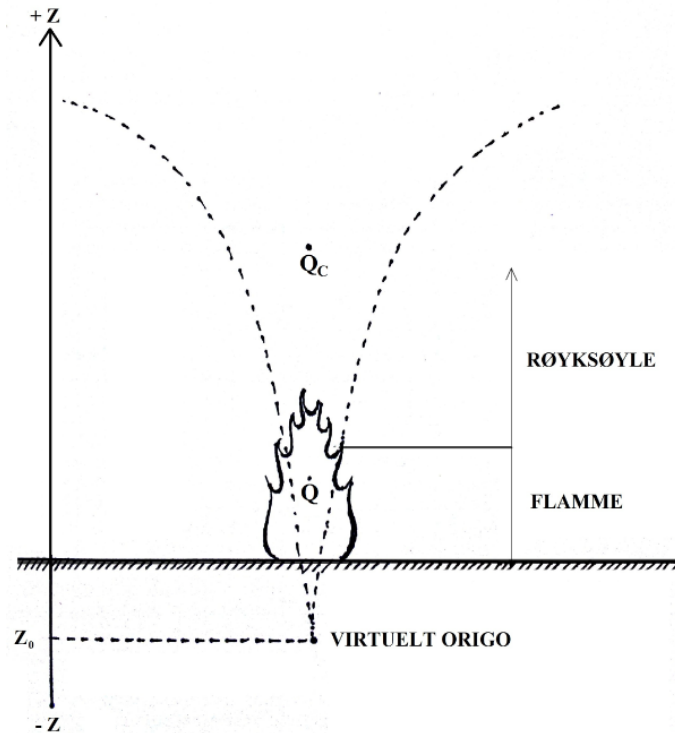
Virtuelt origo

For beregninger ved Heskestads røyksøyleteori er det nødvendig å bestemme et virtuelt origo (Hagen, 2004). Det virtuelle origo forteller noe om forholdet mellom effektutvikling og brannens diameter og benyttes blant annet for å bestemme temperatur i røyksøylen.

Dersom høyden z_0 er negativ indikerer dette at brannens areal er stort sammenlignet med effektutviklingen brannen avgir. En positiv verdi vil kunne samsvare med at den reelle brannkilden plasseres høyere, mens en negativ verdi gir bidrag i samsvar med en brannkilde plassert på en lavere høyde. Det virtuelle origo er empirisk bestemt og har vist seg å stemme godt overens med observerte data. I formel (3.2) vises formel for utregning av virtuelt origo i forbindelse med Heskestads røyksøyleteori (Karlsson & Quintiere, 2000, s. 64):

$$z_0 = 0,083\dot{Q}^{2/5} - 1,02D \quad (3.2)$$

Der D er brannens diameter. Ligger høyden z_0 over brannområdet indikerer dette en høy effektutvikling sammenlignet med brannarealet. For de videre beregningene benyttes et virtuelt origo for brann inntil en vegg. Dette tilsvarer en brannkilde på 60 kW.



Figur 8: Virtuelt origo.

3.3. Beregning av temperatur og hastighet i røyksøylen

I forkant av testingen ble det utført beregninger for å gi et inntrykk av hvilke temperaturer som kunne forventes under forsøkene. Det gjøres oppmerksom eventuell påvirkning fra raft i forhold til varmeutvikling ikke har blitt tatt hensyn til. Beregningene er således gjort for et scenario med en flamme plassert inntil en rett vegg.

For å beregne forventet temperatur ved deteksjonslinjene målt vertikalt fra brannens overflate ble formel (3.3) benyttet (Karlsson & Quintiere, 2000, s. 65).

$$\Delta T = 9,1 \left(\frac{T_\infty}{g c_p \rho_\infty^2} \right)^{1/3} \cdot \dot{Q}_c^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} \quad (3.3)$$

Her er T_∞ omgivelsestemperatur, g gravitasjonskonstanten, c_p spesifikk varmekapasitet for luft, ρ_∞ tetthet for luft ved omgivelsestemperatur, \dot{Q} er brannens effekt, z avstand fra brannkildens overflate til deteksjonslinjen og z_0 verdi for brannens virtuelle origo.

Uttrykket viser temperaturendring, ΔT . For å få antatt målt temperatur ved gitt høyde uttrykt i celsius legges starttemperaturen til endringen vist i formel (3.3). I avsnitt 3.2 ble det forklart hvordan det kan antas at en brannkilde som står inntil en vegg kan dobles. Forventet temperatur ved deteksjonslinjen vises i formel (3.4):

$$T = 9,1 \left(\frac{T_\infty}{g c_p^2 \rho_\infty^2} \right)^{1/3} \cdot (2\dot{Q}_C)^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} + T_\infty \quad (3.4)$$

Likning (3.5) viser utregning av lufthastighet i henhold til Heskestads røyksøylemodell. Uttrykket er empirisk bestemt og viser lufthastighet i en røyksøyle.

$$u_0 = 3,4 \left(\frac{g}{c_p T_\infty \rho_\infty} \right)^{1/3} \dot{Q}_C^{1/3} (z - z_0)^{-1/3} \quad (3.5)$$

Der c_p er spesifikk varmekapasitet for luft under konstant trykk, T_∞ temperaturen i luften innblandet i flammen, ρ_∞ lufttetthet, \dot{Q}_C konvektiv varmeoverføring, z høyde over brannkilden og z_0 virtuelt origo. For diffusjonsflammer vil det konvektive bidraget ligge på en andel mellom 0,6 og 0,8 av den totale forbrenningseffekten, (Karlsson & Quintiere, 2000, s. 64). For propan vil det konvektive varmebidraget ligge på $\dot{Q}_C = 0,714 \cdot \dot{Q}$ (Tewarson, 2002).

En forenkling av uttrykket vises i formel (3.6), hvilket fremkommer ved å kombinere likning (3.5) med likning (3.3):

$$u_0 = 1,0 \cdot \left(\frac{\dot{Q}_C}{(z - z_0)} \right)^{1/3} \quad (3.6)$$

I formel (3.7) settes det konvektive varmebidraget inn for branneffekten. Konstanten foran uttrykket har blitt forkortet, og branneffekten dobles i samsvar med antatt påvirkning fra veggen på brannen:

$$u_0 = \left(\frac{0,714 \cdot (2\dot{Q})}{(z - z_0)} \right)^{1/3} \quad (3.7)$$



Reynolds tall (turbulens)

Reynolds tall beskriver hvor mye turbulens det er i en luftstrøm. Avhengig av turbulens vil varmeoverføringen påvirkes.

Når et fluid strømmer rundt et objekt vil skjærkrefter føre til at det dannes et tynt, stillestående sjikt rundt objektet. Atreya (2008) beskriver fenomenet som et termisk grensesjikt som oppstår på grunn av temperaturforskjeller mellom en fri strøm og overflaten til et objekt, gjengitt i formel (3.8):

$$Re = \frac{u \cdot d_s}{\nu_T} \quad (3.8)$$

Der u er hastigheten ved en gitt høyde, d_s deteksjonskabelens ytre diameter og ν_T den kinematiske viskositeten ved antatt temperatur rundt deteksjonslinjen. Ved å sette inn beregnet lufthastighet ved plassering av deteksjonslinjer samt kinematisk viskositet for temperaturen beregnet ved samme høyde kan Reynolds tall regnes ut.

3.4. Varmeoverføring til slangen

Med utgangspunkt i beregnet lufthastighet og temperatur i røyksøylen kan Nusselt-tallet beregnes. Nusselts tall er et dimensjonsløst varmeovergangstall: et uttrykk for hvor mye varme som overføres mellom et fluid og et fast objekt.

Nusselt-tallet kan bestemmes ut fra et forhold mellom varmeoverføring via konveksjon og varmeoverføringen som skjer ved varmeledning (Pitts & Sissom, 1998). Formel (3.9) er hentet fra Kanury og viser gjennomsnittlig Nusselt tall (1975, s. 59)

$$\overline{Nu} = \frac{\dot{q}_{conv}}{\dot{q}_{cond}} = \frac{hL}{k} \quad (3.9)$$

Nusselts tall er avhengig av turbulens. Jo mer turbulent det er (dvs. høyere Reynolds tall), dess mer varme overføres.

Formler for Nusselts tall er empirisk bestemt, det vil si at de er tilpasset forsøksdata og gjelder for strømning rundt en sylinder. Beregninger med temperaturer og hastigheter funnet ved hjelp av Heskestads røyksøyleteori gav Reynoldstall på mellom 800 og 900. Likning (3.10) viser formel for en strømning rundt en sylinder når $400 < Re < 4000$:

$$\overline{Nu}_d = 0,615 \cdot (Re)^{0,466} \quad (3.10)$$



Uttrykket gir gjennomsnittlig Nusselts tall (Kanury, 1975, s. 63). Når dette er kjent kan varmeovergangstall, h , beregnes ved hjelp av likning (3.11):

$$\bar{h}_{T_F} = \frac{\overline{Nu_d} \cdot k_{T_F}}{d_s} \quad (3.11)$$

Der k_{T_F} er konduktivitet (uttrykk for varmeledning gjennom et fast materiale) gitt ved en filmtemperatur. Filmtemperatur kan beregnes ved hjelp av formel (3.12), og gir et gjennomsnitt mellom temperaturen i det faste materialet og temperaturen i fluidet (Pitts & Sissom, 1998, s. 150):

$$T_F = \frac{T_\infty + T_s}{2} \quad (3.12)$$

T_s er slangens overflatetemperatur og T_∞ temperaturen til fluidet som omgir slangen.

Eksempel

I likning (3.4) og (3.7) ble det vist hvordan temperatur og lufthastighet ved slangen kan beregnes ved hjelp av Heskestads røyksøyleteori. Tabell 1 og Tabell 2 viser temperatur og lufthastighet på de 3 plasseringene inntil vegg. Utrengninger er vist i Vedlegg II.

Tabell 1: Utregnet flammehøyde og virtuelt origo.

Generelle verdier	
	<i>Inntil vegg (60 kW)</i>
Flammehøyde	0,98 m
Virtuelt origo	0,197 m

Tabell 2: Verdier benyttet for utregning av varmeoverføring til slangene.

Termoelementplassering	#1	#2	#3
Høyde	1,67 m	1,765 m	1,92 m
	<i>Inntil vegg (60 kW)</i>	<i>Inntil vegg (60 kW)</i>	<i>Inntil vegg (60 kW)</i>
Temperatur	180,5 °C	164,6 °C	143,6 °C
Lufthastighet	3,08 m/s	3,01 m/s	2,92 m/s



Utrekning av \bar{h} for plassering nr. 2, ved en slangetemperatur på 20 °C, en gasstemperatur på 164,6 °C og en lufthastighet på 3,01 m/s (se Tabell 2, s.27). Den kinematiske viskositeten ved 164,6 °C finnes ved å interpolere verdier fra tabell i Vedlegg V (Chapman, 1987):

$$Re = \frac{u_2 \cdot d_s}{\nu_2}$$

$$Re = \frac{3,01 \frac{m}{s} \cdot 0,00635m}{30,284 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = \underline{631}$$

Setter inn Reynolds tall og finner gjennomsnittlig Nusselts tall:

$$\overline{Nu}_d = 0,615 \cdot (Re)^{0,466}$$

$$\overline{Nu}_d = 0,615 \cdot (631)^{0,466} = \underline{12,4}$$

Finner filmtemperaturen:

$$T_F = \frac{T_\infty + T_s}{2}$$

$$T_F = \frac{164,6 + 20}{2} = 92,3^\circ C$$

Varmeledningsevnen til luftsjiktet ved filmtemperatur finnes ved å interpoleres mellom verdier fra tabell A i vedlegg V og settes til:

$$k_{(92,3^\circ C)} = \underline{30,8 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^\circ C}}$$

Dermed kan varmeoverføringstallet for luftsjiktet rundt sylindere beregnes:

$$\bar{h}_{T_F} = \frac{\overline{Nu}_d \cdot k_{T_F}}{d_s}$$

$$\bar{h}_{(92,3^\circ C)} = \frac{12,4 \cdot 30,8 \cdot 10^{-3} \frac{W}{m^\circ C}}{0,00635m} = \underline{\underline{60,1 \frac{W}{m^2^\circ C}}}$$

Som gir varmeoverføringstall for luftsjiktet ved en omgivelsestemperatur på 164,6 grader og en slangetemperatur på 20 grader. Verdien er uthevet i Tabell 3.

Siden varmeovergangstallet vil endre seg med temperatur har det blitt gjort en forenkling ved å regne ut et gjennomsnitt av varmeovergangstallene for hver 10. grad endring fra starttemperatur til antatt utløsningstemperatur. Starttemperatur T_∞ er satt til 20 grader og utløsningstemperatur T_u lik 90 grader. I Tabell 3 vises varmeovergangstemperaturen ved hvert temperatursteg for de tre plasseringene når tidligere utregnet lufttemperatur og -hastighet legges til grunn:

Tabell 3: Gjennomsnittlig varmeovergangstall h for slanger montert langs vegg.

Slangeplassering	1	2	3
Heskestad temperatur	180,5	164,6	143,6
Heskestad lufthastighet	3,08	3,01	2,92
T_s	\bar{h}_{T_F}		
20	56,3	60,1	60,2
30	56,9	60,7	60,8
40	57,5	61,4	61,5
50	58,1	62,1	62,2
60	58,7	62,7	62,9
70	59,3	63,4	63,6
80	60,0	64,0	64,2
90	60,5	64,7	64,9
Gjennomsnitt:	58,4	62,4	62,5

3.5. Lumped heat capacity – teoretisk beregning av utløsningstid

For å utregne utløsningstidspunkt for PVDL-slangene trengs data på materialeegenskaper.

Slangens tetthet ble målt til 1090 kg/m^3 . Materialet ble bestemt til low density polyetylen (Troitzsch, 2004), som gir en k -verdi på $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Spesifikk varmekapasitet for materialet ble satt til $2,3 \text{ kJ/(kg K)}$. Det bemerkes at det er en viss usikkerhet rundt k - og c_p -verdi for materialet.

Ved å regne ut gjennomsnittlig termoelement-temperatur ved utløsningstidspunkt antas en utløsningstemperatur på 90 grader (se avsnitt 5.5). Det bemerkes at termoelementene trolig har raskere reaksjonstid enn slangen, da de har en mindre masse. Egenskapene for slangen er oppsummert i Tabell 4.

Tabell 4: Fysiske og termiske egenskaper for PVDL-slange

Fysiske og termiske egenskaper for PVDL-slange			
	Benevning	Verdi	Enhet
ytre diameter	d_s	6,35	mm
indre diameter	d_i	4,3	mm
tetthet	ρ	1090	kg/m^3
varmeledningsevne	k	0,4	W/(m K)
spesifikk varmekapasitet	c_p	2,3	kJ/(kg K)
Antatt utløsningstemperatur	T_u	90	$^{\circ}\text{C}$



For et objekt som er svært tynt, eller laget av et materiale med høy varmeledningsevne kan det antas at varmen i objektet er uniformt fordelt. Ved å se bort fra temperaturforskjeller innad i objektet kan temperatur beregnes ved å finne den konvektive varmeoverføringen.

For å avgjøre om et objekt er termisk tynt regnes forhold mellom konveksjon og varmeledning i et objekt med en karakteristisk dimensjon, L:

$$L = \frac{V}{A_s} = \frac{(r_s^2 - r_i^2)}{2r_s} = \frac{\left(\frac{0,00636}{2} m\right)^2 - \left(\frac{0,0043}{2} m\right)^2}{0,00636 m} \approx \underline{\underline{8,632 \cdot 10^{-4} m}}$$

Der A_s er overflateareal, V volum, r_s ytre radius og r_i indre radius.

Forholdet mellom konveksjon og varmeledning gis ved Biot-tallet, et dimensjonsløst uttrykk vist i likning (3.13) (Pitts & Sissom, 1998, s. 88). Tilnærmingen ved å behandle et objekt som termisk tynt gjelder dersom Biot-tallet er mindre enn 0,1 (Hagen, 2004, s. 142:143):

$$Bi = \frac{\bar{h}L}{k} \quad (3.13)$$

Der k er varmeledningsevnen til objektet.

Setter inn verdier for plassering 2:

$$Bi = \frac{62,4 \frac{W}{m^2 K} \cdot 8,632 \cdot 10^{-4} m}{0,4 \frac{W}{m K}} = \underline{\underline{0,13}}$$

Biot-tallet ligger litt høyere enn hva som kan anses som termisk tynt, men objektet regnes videre som termisk tynt da verdien ligger svært nær grenseverdien på 0,1.

Likning (3.14) viser hvordan varmeoverføring til et termisk tynt objekt kan bestemmes (Pitts & Sissom, 1998, s. 88):

$$\bar{h}A_s [T(t) - T_\infty] dt = -\rho c V dT \quad (3.14)$$

Ved å integrere begge sider og sette inn $T(0) = T_i$ kan uttrykket skrives slik det vises i likning (3.15):

$$\frac{T_u - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp \left[- \left(\frac{\bar{h}A_s}{\rho c V} \right) t \right] \quad (3.15)$$

I likning (3.16) er uttrykket løst med hensyn på tiden:

$$t = - \left(\frac{\rho c V}{\bar{h} A_s} \right) \cdot \ln \left(\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} \right) \quad (3.16)$$

Eksempel:

For plassering nr. 2 ble gasstemperaturen regnet ut til 164,6 grader, antar derfor at dette tilsvarer omgivelsestemperaturen til slangen.

Under er det vist hvordan tid til utløsning regnes ut for plassering nr. 2 kan regnes ut ved hjelp av den teoretiske modellen:

$$t = - \left(\frac{1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1\text{m} \cdot \pi \left(\frac{(0,00635\text{m})^2 - (0,0043\text{m})^2}{4} \right)}{62,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot \pi \cdot 0,00635\text{m} \cdot 1\text{m}} \right) \cdot \ln \left(\frac{90 - 164,6}{20 - 164,6} \right) \approx \underline{\underline{22,9\text{s}}}$$

Det vil ta 23 sekunder før en deteksjonslinje montert 1,765 meter over brannkildens senterlinje løser ut.

Beregnet utløsningstid for deteksjonslinjer plassert 1,67 meter og 1,92 meter over brannoverflaten (henholdsvis plassering 1 og 3) er oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5: Inndata og beregnet utløsningstid for slange ved plassering nr. 1, 2 og 3.

Plassering	1	2	3
Høyde [m]	1,67	1,765	1,92
Beregnet temperatur	180,5 °C	164,6 °C	143,6 °C
\bar{h}	58,4 W/(m ² °C)	62,4 W/(m ² °C)	62,5 W/(m ² °C)
Teoretisk utløsningstid	21 s	23 s	29 s

3.6. Lumped heat capacity – beregning av utløsningstemperatur basert på temperaturmålinger fra forsøk

Formel for varmeoverføring i et tynt objekt ble gitt ved likning (3.14):

$$\bar{h} A_s [T(t) - T_\infty] dt = -\rho c V dT$$

Dersom fluidtemperaturen er kjent kan likningen løses numerisk ved hjelp av backward Euler metoden, se likning (3.17):



$$\Delta T_{s(n)} = \frac{\bar{h} \cdot A_s \cdot (T_{\infty(n)} - T_{s(n-1)})}{\rho c_p V} \Delta t \quad (3.17)$$

Der $T_{\infty(n)}$ er gasstemperatur ved den nye tiden, $\Delta T_{s(n)}$ er temperaturendring for slangen i løpet Δt . Δt er tidsintervallet mellom to datasett, n-1 og n.

Ny slangetemperatur (tidssteg n) blir den gamle slangetemperaturen (tidssteg n-1) pluss temperaturendringen:

$$T_{s(n)} = T_{s(n-1)} + \Delta T_{s(n)}$$

Satt inn i formel (3.17) gir dette :

$$T_{s(n)} = \frac{\bar{h} \cdot A_s \cdot (T_{\infty(n)} - T_{s(n-1)})}{\rho c_p V} \Delta t + T_{s(n-1)}$$

Likningen regnes ut for hvert tidssteg, n, ved å sette inn temperaturmålinger fra forsøkene.

Eksempel:

I eksempelet under har temperaturendringen blitt regnet ut for plassering nr. 2 for tynt termoelement ved de to første tidsstegene fra forsøk 9:

$$T_{s(1)} = \frac{62,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 1,9949113 \cdot 10^{-2} m^2 \cdot (32,8^\circ C - 19,4^\circ C)}{1090 \cdot 2,3 \cdot 10^3 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1,715 \cdot 10^{-5} m^3} \cdot 3s + 19,4^\circ C = 20,6^\circ C$$

$$T_{s(2)} = \frac{62,4 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot 1,9949113 \cdot 10^{-2} m^2 \cdot (55,1^\circ C - 20,6^\circ C)}{1090 \cdot 2,3 \cdot 10^3 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 1,715 \cdot 10^{-5} m^3} \cdot 2s + 20,6^\circ C = 22,6^\circ C$$

Måledata fra forsøk 9 samt beregnet slangetemperatur er gjengitt i Tabell 6, her er eksempelverdier uthevet. Beregningene ovenfor er gjengitt i den siste kolonnen i tabellen, for tidssteg 1 og 2. Utregningene ble gjort i Excel og videre implementert i MATLAB.

Fra Tabell 6 sees det at de tynne termoelementene responderer hurtigere enn de tykke på temperaturendringer. I tabellen ved tidssteg 3 er slangetemperaturen for utregninger basert på det tynne termoelementet 27,3 grader mot 22,9 grader basert på målinger fra tykt termoelement. Ved å benytte måledata for termoelementet på 0,5 mm vil således beregnet slangetemperatur øke raskere.



Tabell 6: Numerisk beregning av tid til utløsning hentet fra plassering 2, forsøk 9.

Numerisk beregning av slangetemperatur						
			Termoelement 1 mm		Termoelement 0,5 mm	
n	Tid [s]	Δt	Målt temperatur	Slangetemperatur	Målt temperatur	Slangetemperatur
0	0	0	18,8	18,8	19,4	19,4
1	3	3	19,6	18,9	32,8	20,6
2	5	2	34,5	19,8	55,1	22,6
3	8	3	55,5	22,9	77,0	27,3



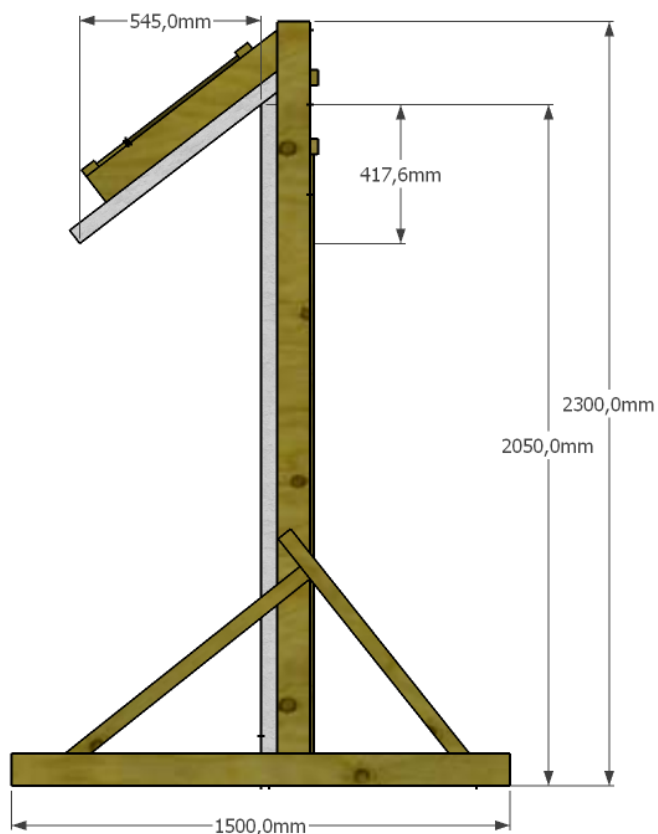
4. Testoppsett

Forsøkene ble utført innendørs i brannlaben ved Høgskolen i Stord Haugesund. Testoppsettet, en vegg med raft, ble bygget så stor som praktisk mulig slik at den passet innunder ventilatorhetten på laboratoriet. Innendørs testing bidro til stabile testforhold, hvilket gjorde det mulig å få sammenlignbare resultater.

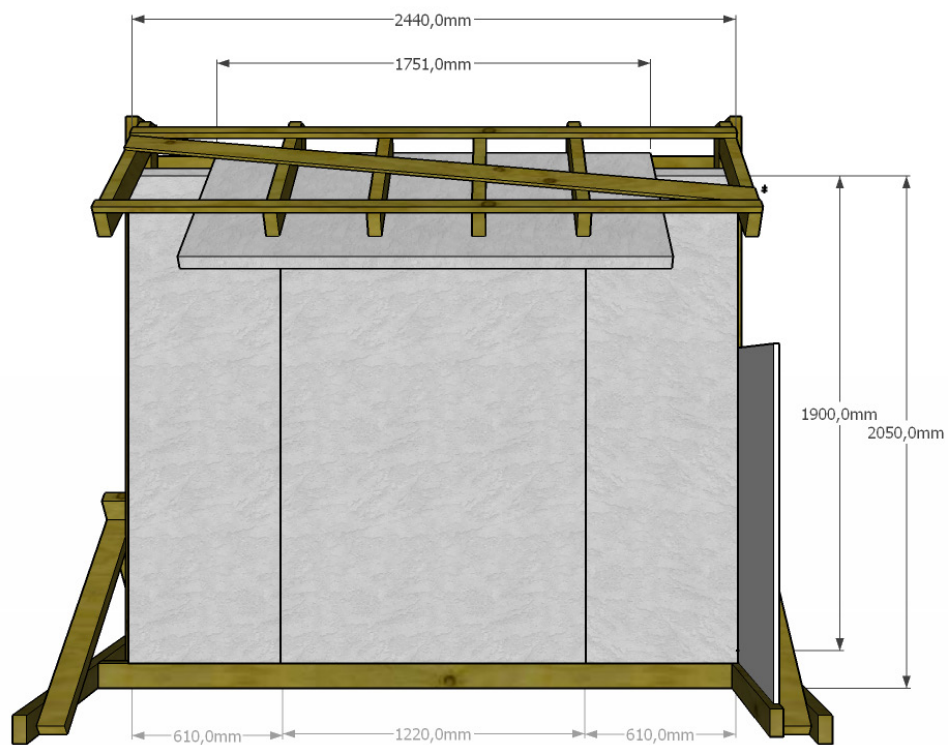
4.1. Vegg

For å utføre forsøkene ble det bygget en testvegg for montering av linjedeteksjonssystemet. Testveggen ble bygget med et raft slik at eventuell innvirkning på deteksjonstiden fra raftet kunne kartlegges. Det ble lagt vekt på at testoppsettet skulle være enkelt og holdbart, slik at det skulle kunne brukes til flere testserier og lagres mellom hvert prosjekt. For å gjøre det mulig å flytte testoppsettet når det ikke var i bruk ble veggen ført opp i lette materialer. Reisverket ble laget i tre, og innsiden av veggen kledd med ubrennbare plater av kalsiumsilikat (Jøtul JGFV-5, samme produkt og produktspesifikasjoner som Scamotek 255. Se vedlegg VIII for datablad). I dialog med Riksantikvaren ble det valgt en takvinkel på 37,5 grader hvilket vil kunne sees representativt for gamle trehus. Det gjøres imidlertid oppmerksom på at takvinkelen på et bygg vil variere avhengig av stilart, helningen er derfor en generell verdi.

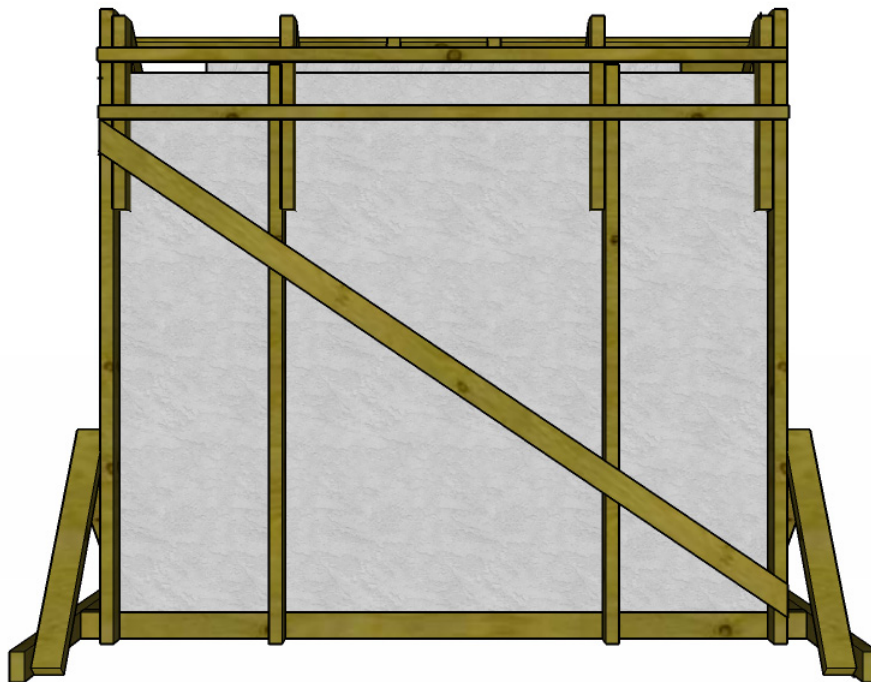
Under prøvoforsøk viste det seg at avtrekkshetten ikke klarte å transportere bort all røyken. For å sikre at det ikke kom større mengder røyk ut i brannlaben under forsøk ble raftet derfor kortet ned på sidene. Prøvoforsøk viste at flammen lett ble ustabil av trekk fra siden. Det ble derfor satt på en vindskjerm på høyre side av veggen. I Figur 9, Figur 10 og Figur 11 kan veggens dimensjoner leses av:



Figur 9: Testvegg sett fra siden med dimensjoner. (Vindskjermen er ikke tatt med i figuren for å vise oppsettet bedre.)



Figur 10: Testvegg sett forfra. På høyre side er det satt på en vindskjerm for å stabilisere flammen.



Figur 11: Testvegg og reisverk sett fra baksiden.

4.2. Brannstørrelse og brenner

Det ble gjort innledende forsøk som viste at en brann på 30 kW ville utløse deteksjonstubene så raskt som 30 sekunder. Branneffekten ble beregnet ved å sette propanbeholderen på en vekt og måle massetap over tid. For å kontrollere massestrømmen ble gassen koblet via et flowmeter vist i Figur 12 og nivået notert. Ved å regne ut massetapsraten var det mulig å beregne effekten ut fra formel (4.1) (Karlsson & Quintiere, 2000, s. 30:31):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_{eff} \quad (4.1)$$

Der effektiv forbrenningsvarme (4.2) er gitt ved:

$$\Delta H_{eff} = \Delta H_c \cdot \chi \quad (4.2)$$



Uttrykket kan dermed skrives om slik det vises i (4.3):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \chi \cdot \Delta H_c \quad (4.3)$$

Der:

$$\chi = \frac{\Delta H_{eff}}{\Delta H_c}$$

\dot{Q} er effekt, \dot{m} massetapsrate uttrykt i masse per tidsenhet og ΔH_c for propan satt til 46,0 kJ/g (Tewarson, 2002, ss. 3-111). Forbrenningseffektiviteten χ for propan kan settes til 0,95 (Tewarson, 2002).

Utregning av effekt for brannen:

Innledende tester for å bestemme brannstørrelse viste at kg propangass ble forbrukt i løpet av 1565 sekunder.

$$\dot{Q} = \frac{1000g}{1565s} \cdot 0,95 \cdot 46,0 \frac{kJ}{g} \approx 27,86kW$$

Finner avvik mellom oppnådd og ønsket effekt:

$$\dot{Q} = (30 - 27,86)kW = 2,13$$

$$\dot{Q} = \frac{2,13}{27,86} \cdot 100\% = 7,65\%$$

Brenneren ble justert opp 7-8 %. Dette tilsvarte 110 mm på flowmeteret. Etter 789 sekunder var 530 gram propan forbrukt som resulterte i en effekt tilnærmet 30 kW:

$$\dot{Q} = \frac{530g}{789s} \cdot 0,95 \cdot 46,0 \frac{kJ}{g} = 29,35kW \approx \underline{30kW}$$



Figur 12: Utstyr for måling av propanstrøm. I forsøkene stod innstrømmen på 110 mm, hvilket tilsvarer en effekt på 30 kW.

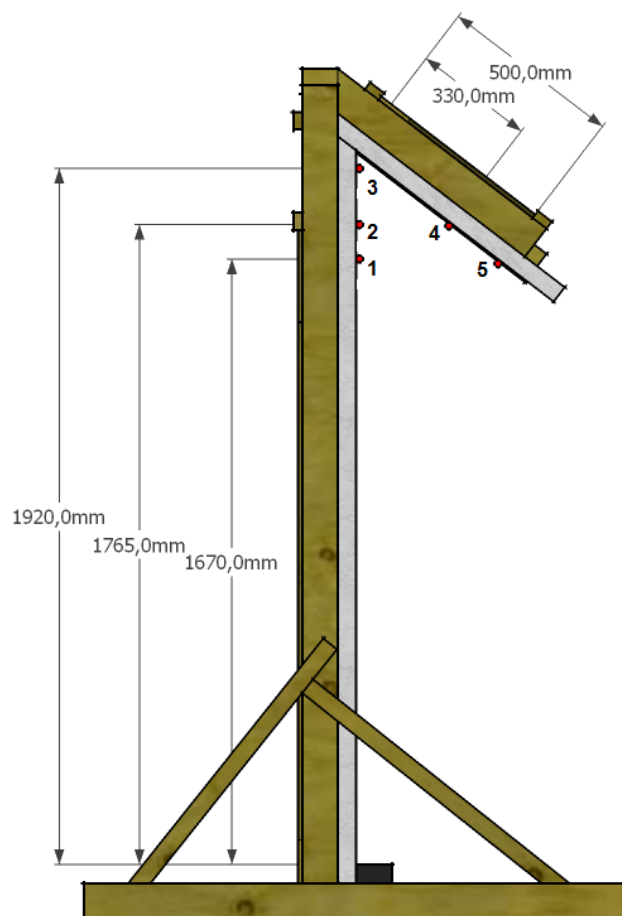
4.3. Prøveforsøk

I forkant av testingen ble det gjort to prøveforsøk av en linje ved plassering 2 som gav en utløsningstid etter henholdsvis 362 og 100 sekunder. Det ble under forsøkene observert at flammen ble påvirket av trekk i laboratoriet, og at viften skapte turbulens som bidro til å gjøre oppsettet ustabil. For å stabilisere testforholdene ble det satt på en vindskjerm på høyre side og det ble notert at avtrekket måtte være på det minimum som bidro til å transportere røyk ut uten at testoppsettet ble merkbart påvirket. Flammen så ut til å påvirkes av bevegelse i rommet. For videre forsøk ble det notert at personer måtte holde seg mest mulig i ro under testingen.

4.4. Plassering av deteksjonslinjer

Per i dag er det ingen standardisert testmetodikk for linjedeteksjonssystemer (European Committee for Standardization, 2011). Ofte monteres slike anlegg innunder takutstikk, og eventuell effekt av slike raft med tanke på deteksjonstid var ønskelig å kartlegge. For å se på hvordan et raft ville påvirke deteksjonssystemet ble det montert opp 5 linjer på ulike plasseringer innunder raftet. For å loggføre resultatene ble termoelementer plassert i underkant av kablene.

Under en befaring på Gol Stavkirke ble det observert plassering av deteksjonslinjer ytterst på raft. Bilder fra andre stavkirker viste samme montering av deteksjonslinjene. I forbindelse med testene som ble utført ved SP i Sverige (Andersson, Persson, & Tuovinen, Råd för installation av värmedeteksjonskabler på ytterfasad, 2006) ble det gitt retningslinjer for montering av linjedeteksjon på utvendige fasader. Konklusjonen fra simuleringer gav en anbefaling om å ikke montere deteksjonslinjer lengre ute enn midt på raftet. Det ble i tråd med dette plassert en deteksjonslinje nederst på, og midt på raftet. Det ble videre anbefalt at deteksjonslinjene fortrinnsvis skulle monteres langs vegg. Det ble derfor lagt inn to deteksjonslinjer på samme høyde som de to montert på raftet for å se hvilken forskjell plassering langs vegg versus raft ville virke inn på varmeoverføringen. For å se på hvor vidt varme akkumulerte innunder vinklingen ble det også plassert en deteksjonslinje rett oppunder vinkelen. Plasseringen av deteksjonslinjene kan leses av i Figur 13 og er oppsummert i Tabell 7:



Figur 13: Termoelement- og slangeplassering målt langs senterlinje fra brannkildens overflate. Plasseringen av slanger og termoelementer er her nummerert fra 1 til 5, hvilket samsvarer med nummerering av beregninger og temperaturlogging.

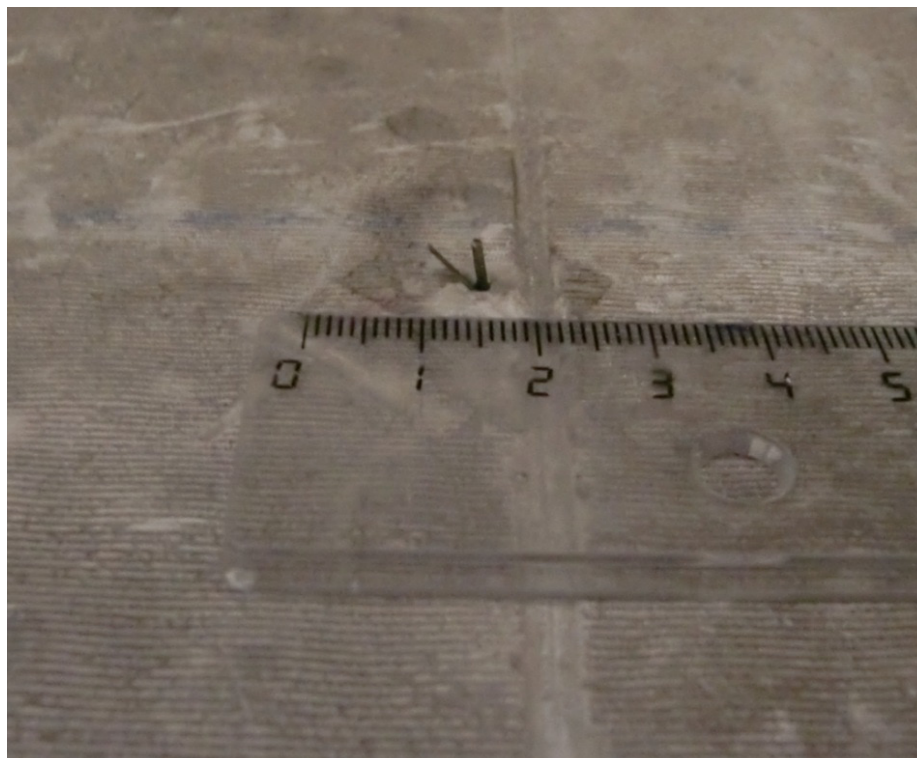
Tabell 7: Oversikt over plassering av termoelementer.

Plassering av termoelementer og deteksjonslinjer			
Nr.	Deteksjonslinje	Termoelement	Høyde over brenner [m]
1	Vegg	Senterlinje	1,67
2	Vegg	Senterlinje	1,765
3	Vegg	Senterlinje	1,92
4	Raft	Senterlinje	1,765
5	Raft	Senterlinje	1,67

4.5. Deteksjonslinjer

For å måle temperatur under forsøkene ble det montert 5 K-elementer á 1 mm på samme høyde som deteksjonskablene langs røyksøylens senterlinje. Fra og med forsøk 8 ble det satt inn et ekstra termoelement med en diameter på 0,5 mm for plassering 1, 2 og 3. I forsøk 16 og 17, ble det satt inn et ekstra termoelement på plassering 4 og 5.

Fra baksiden av branngipsplatene ble det boret et hull med samme dimensjon som termoelementene, slik at kun tuppen ble eksponert for røyksøyletemperaturen. Termoelementene ble i forkant av hvert forsøk justert slik at de stod 6 mm ut fra veggen, da dette tilsvarte diameteren på deteksjonsslangene. Montering av termoelementer kan sees i Figur 14 og Figur 15.



Figur 14: Plassering av termoelementer, 1mm og 0,5 mm. Før hvert forsøk ble termoelementene justert slik at de stod 6 mm ut fra veggen.

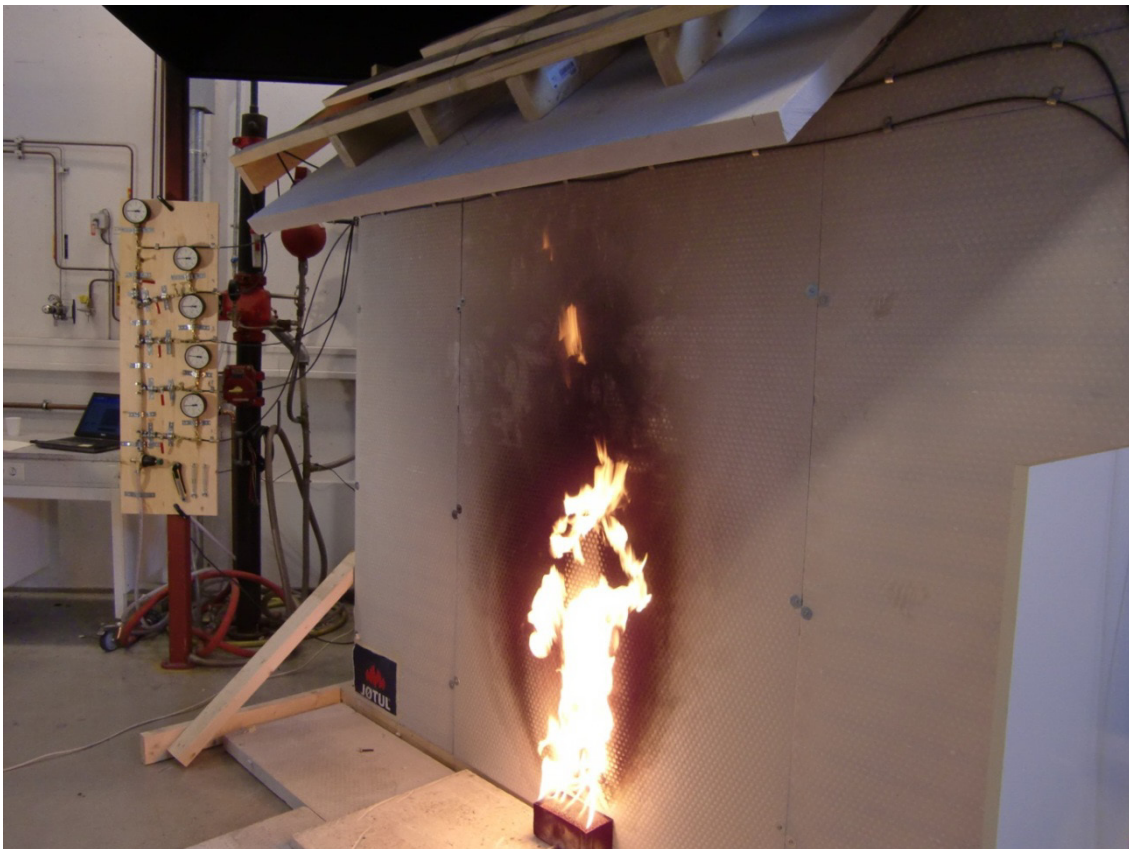


Figur 15: Plassering av termoelementer (senter). Deteksjonslinjene ble montert med slangeklemmer (sider) slik at de lå ovenfor termoelementene.

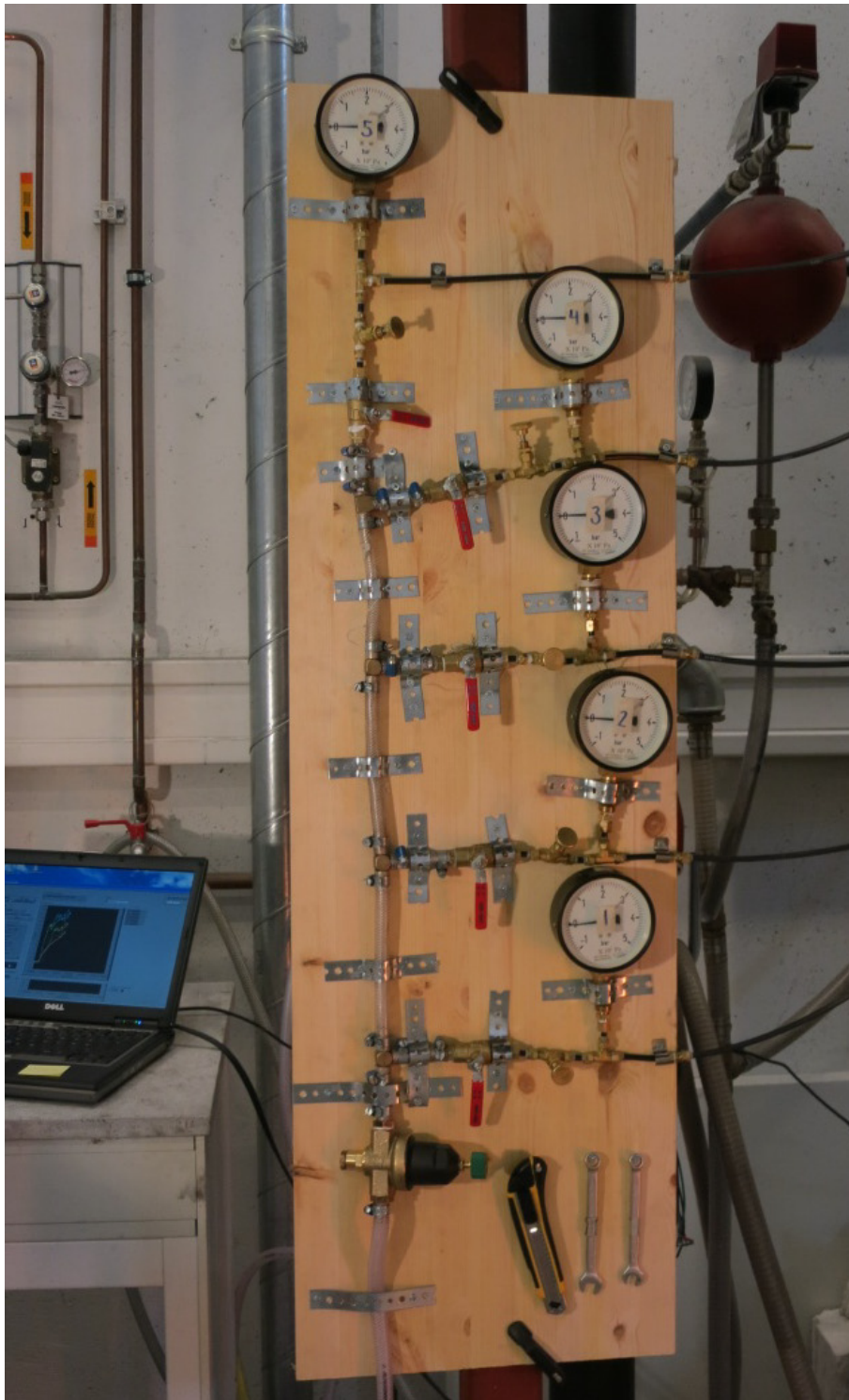
4.6. Deteksjonslinje med luft

For testingen ble det benyttet PVDL av typen «Poly-Flo». I datablader ble det oppgitt at det aktuelle systemet skulle trykksettes til 5 bar. Siden det gjerne vil være en utfordring å opprettholde dette trykket ble det valgt å trykksette slangene til 3,5 bar: det minimum av trykk som ikke gir en alarm. Et trykk på 3,5 bar er ikke uvanlig på denne typen system i driftstilstand. Deteksjon skulle finne sted dersom trykket falt under 3 bar.

For å sette trykk på slangene ble det benyttet trykkluft regulert med en strupeventil for å styre lufttilførselen inn til en manifoil som fordelte trykkluft til hver enkelt linje. I forkant av forsøkene ble det utført en test av luftlekkasje over systemet. Det var to av koblingene som ikke ble helt tette på grunn av luftlekkasje rundt manometrene. På grunn av systemets sårbarhet for luftlekkasjer er etterfylling av luft ved hjelp av strupeventiler normal praksis ved montering. For å kunne opprettholde et stabilt trykk i den tiden testene tok ble det satt inn en strupeventil på hver enkelt deteksjonslinje som før hvert forsøk ble justert til det minimum som opprettholdt et stabilt trykk. Ved utløsning av en linje ville trykkfallet registreres momentant. Bilde av det komplette testoppsettet er vist i Figur 16. I Figur 17 vises et utsnitt av overvåkningsstasjonen for avlesning av trykk for deteksjonslinjene.



Figur 16: Testoppsett under forsøk.



Figur 17: Overvåkningsstasjon for trykk.



4.7. Testprosedyre

Testene ble kjørt i tiden det tok til alle deteksjonslinjene hadde løst ut.

For hver test ble det montert nye slanger:

- Nye slangestykker ble kuttet med et rent snitt og koblet opp mot manometerstasjonen.
- Luftstrømmen inn til slangene ble åpnet.
- Koblingspunktene ble testet for lekkasjer og trykket inn til slangene ble stengt av.

Før forsøk:

- Avtrekket ble skrudd på og justert til det minimum som transporterte bort røyken uten å innvirke direkte på testoppsettet slik det ble kartlagt under prøveforsøkene.
- Et kamera som filmet testvegg og manometerstasjon ble satt opp.
- Brenner bak testoppsettet ble antent og propanstrømmen ble justert til den stod på 110 mm. Denne ble overvåket og justert slik at den holdt seg stabil under forsøkene.
- Slangene ble trykksatt til 3,5 bar ved å justere strupeventilene gradvis til det minimum som opprettholdt et stabilt trykk. Slangene ble ordnet slik at de ikke lå i kontakt med termoelementene.
- Termoelementene ble så justert slik at de stakk 6 mm ut fra veggen, lik diameteren til deteksjonslinjene. Tynne og tykke termoelementer ble justert slik at de ikke lå inntil hverandre.
- Dataloggeren ble skrudd på
 - Overvåkning ble startet, og responsen fra termoelementene ble kontrollert.
 - Overvåkningen ble så stoppet.

Under forsøk:

- Datalogging og kamera ble startet samtidig
- Etter 60 sekunder ble brenneren foran testoppsettet tent..
- Tid til utløsning for hver slange ble notert.

Etter forsøket:

- Gasstilførselen til brenneren ble skrudd av.
- Trykket ble skrudd av.
- Avstand fra brannens senterlinje til deteksjonspunktet ble målt og notert.
- Slangene ble koblet ned.

5. Resultater fra forsøk

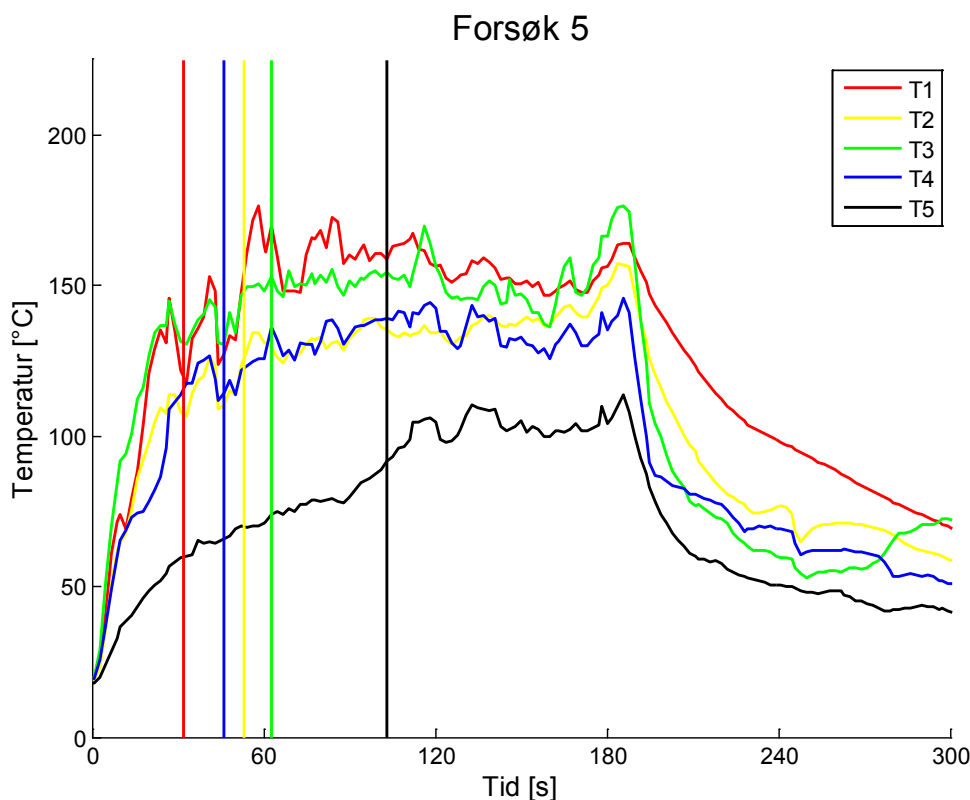
Kapittelet tar for seg temperaturmålinger fra forsøkene og utløsningstid for de forskjellige linjeplasseringene. Øvrige testresultater er oppsummert i tabeller for å kunne brukes til beregninger.

5.1. Temperaturmåling under forsøk

Temperaturkurver for forsøkene kan sees i Vedlegg I. I Figur 18 og Figur 19 er forsøksdata gjengitt. Utløsningstid for hver linje er markert med vertikale streker i samme farge som linjen de tilhører.

Forsøk uten påvirkning fra trekk

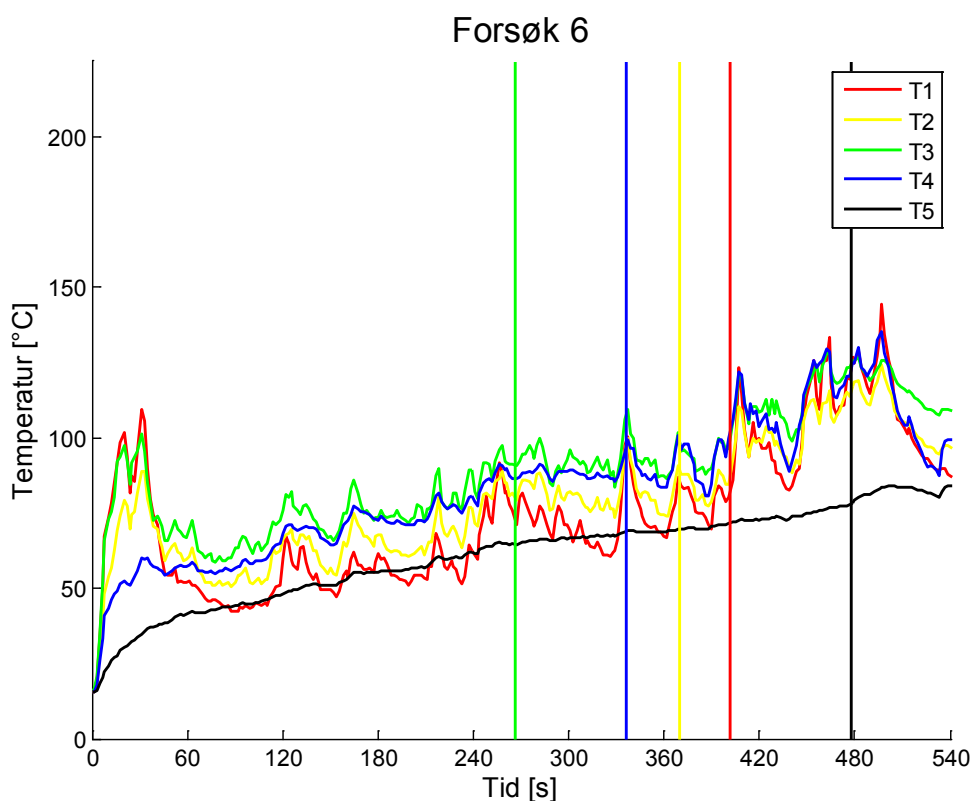
Den typiske temperaturstigningen var hurtig i starten med høyest temperatur lengst nede ved vegg (T1), typisk rundt 150 grader. Rett innunder raftet (T3) var temperaturen gjerne noe høyere enn nest øverste linjeplassering. Temperaturen for linjen midt på raftet (T4) og midt på vegg (T2) var ganske lik, men topptemperatur langs vegg var gjerne noe høyere. For linjen plassert ytterst på raftet (T5) var temperaturen betydelig lavere enn ved de andre linjene. Ofte var utløsningstid for plassering 1,2,3 og 4 ganske tett, mens det tok lengre tid før linje 5 løste ut, da temperaturstigningen her var langsom.



Figur 18: Tid-Temperatur kurve for forsøk 5. Temperaturstigningen viser et forsøk lite påvirket av trekk i rommet.

Forsøk påvirket av trekk

Til tross for at testingen ble utført innendørs viste det seg vanskelig å kontrollere trekk i rommet. Dette påvirket temperaturstigningen under raftet da flammen la seg ned. Ved påvirkning av trekk tok det lengre tid før systemet løste ut. I Figur 19 vises temperaturmåling fra et forsøk påvirket av trekk. Det tok 478 sekunder til alle linjene hadde løst ut, for de andre testene hadde linjene løst ut innen 235 sekunder. For å få med hele testforløpet er aksene på figuren justert. Det kan sees at temperaturen ikke stiger like raskt som i figuren over, og gjerne stabiliserer seg ved en langt lavere temperatur. Den høyeste gjennomsnittstemperaturen oppnås rett innunder takutstikket.



Figur 19: Tid-Temperatur kurve for forsøk 6. Testen ble påvirket av trekk noe som resulterte i en tregere temperaturstigning enn ved øvrige forsøk

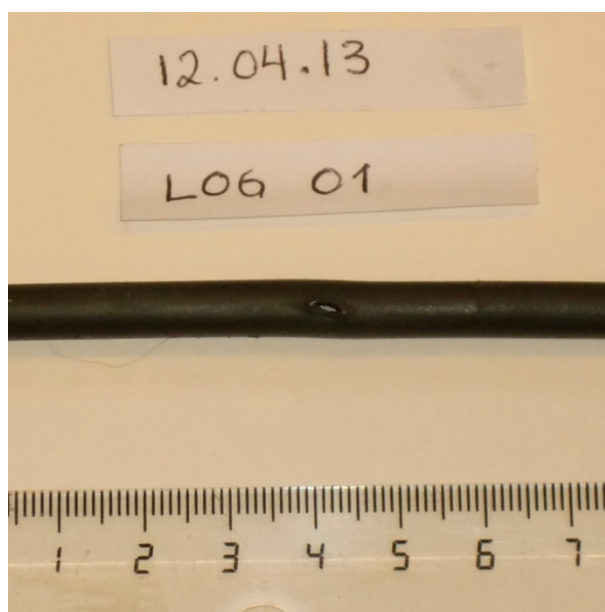
Fra temperaturmålinger fra forsøk 6 som ble påvirket av trekk i stor grad kan det sees at temperaturen ved linje 3, gjerne lå høyere enn ved linje 2. Det sees at temperaturen er høyest ved dette forsøket øverst på veggen, rett innunder raftet. Generelt for de forsøkene som ble betydelig påvirket av trekk var at linjene i stor grad løste ut i rekkefølge ovenfra og ned. Dette kan tyde på at et raft vil kunne bidra til å samle opp varme, også under en viss vindpåvirkning. Det bemerkes imidlertid at linjene løste ut betydelig senere i forsøk som var utsatt av trekk, til tross for at trekken var så svak at den ikke var merkbar for personer som oppholdt seg i rommet. Hvor stor effekt raftet vil ha å si på varmelagring ved vindpåvirkning kan ikke fastsettes, da dette ikke har blitt testet direkte.

5.2. Plassering av brudd langs slangen

Fra og med forsøk 6 ble avstand fra senterlinjen til slangens bruddsted målt. Plassering for brudd er beskrevet i Tabell 8. Bruddene målte noen millimeter slik Figur 20 viser. Det er lagt ved flere bilder av slanger med brudd i Vedlegg III. I de fleste forsøkene lå avstand fra senterlinjen til deteksjonspunktet innenfor 25 cm. Når flammen ved trekk la seg i forhold til senterlinjen var det tendensen gjerne at bruddstedet for kablene ble forskjøvet noe til siden. I et par tilfeller røk imidlertid slangene langt fra senterlinjen (I Tabell 8 er disse tilfellene markert med *). En tendens ved disse bruddene var at slangen ikke så ut til å ha smeltet, og i stedet for hull var det gjerne små rifter i slangen. Trolig skyldes dette en svakhet langs linjen som kan ha ført til at den løste ut noe tidligere enn den ville gjort ellers.

Tabell 8: Avstand fra senterlinje til utløsningspunkt ble målt etter hvert forsøk. *)trolig en svakhet langs slangen.

Horisontal avstand til deteksjonspunkt målt fra senterlinje [cm]										
Plassering	1		2		3		4		5	
	Venstre	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre	Høyre	Venstre	Høyre
Forsøk 6	25		1		61*		24		19	
Forsøk 7		22		8,5		32		19	2	
Forsøk 8		22		4,5		79*		22	1	
Forsøk 9		6	0		5		5		1	
Forsøk 10		3		3		7		7	17	
Forsøk 11		23	1			16	1			5
Forsøk 12		5		53		1	2			4
Forsøk 13	1		0		22			2		23
Forsøk 14		3		4		93*		4		1
Forsøk 15		5		3	20			1		1
Forsøk 16		4		10		24		9		8
Forsøk 17		5	7			25	5		12	



Figur 20: Typisk brudd på deteksjonsslangene.



5.3. Utløsningstid for gammel og ny slange.

Utløsningstid ble både observert og filmet under forsøkene. Etter forsøkene ble filmene brukt for å kalkulere nøyaktig antennelsestidspunkt og utløsningstidspunkt (det kommer en høy lyd når slangene løser ut). Filmene inneholdt 60 sekunder pre-logging og en antennelsesforsinkelse som ofte var på 2-3 sekunder. Antennelsestidspunktet ble trukket fra utløsningstiden slik at verdiene i Tabell 9 og Tabell 10 representerer tid fra antennelse til utløsning.

Forsøk med gammel slange

Under forsøkene løste linjene langs vegg og innerst på raft ut i underkant av 2 minutter med unntak av forsøk 6 der testen forstyrret av trekk slik at flammen la seg. Dette forsinket temperaturøkningen og det tok tid før temperaturen kom opp mot 100 grader. Ved forsøk 6 tok det nesten 8 minutter før alle linjene hadde løst ut. På grunn av det store spriket i testresultater har ikke dette forsøket blitt tatt med i videre beregninger. Det bemerkes imidlertid at testresultatene kan vise en tendens der takutstikket bidrar til å akkumulere varme, da linjene løste ut ovenfra og ned.

I forsøkene som ble påvirket av trekk var det ofte deteksjonslinjen som var montert rett innunder takutstikket som løste ut først (linje 3), mens ved forsøk der flammen stod rett opp løste gjerne den nederste plasseringen langs vegg ut først (linje 1). Den midterste linjen langs vegg (linje 2) var montert i samme høyde som linjen innerst på raftet (linje 5), men her løste plasseringen under raft ut tidligere enn linjen langs vegg.

For alle forsøkene var det plassering 5, linjen ytterst på raftet, som løste ut sist, og da gjerne betydelig senere enn de andre linjene. I Tabell 9 gjengis utløsningstidene for forsøksserie av gammel PVDL-slange.

Tabell 9: Utløsningstid for gammel deteksjonslinje.

Tid til utløsning for gammel slange [s]					
	1	2	3	4	5
Forsøk 3	50	72	71	63	112
Forsøk 5	32	53	63	46	103
Forsøk 6	402	370	266	336	478
Forsøk 7	35	77	68	56	129
Forsøk 8	92	130	74	89	156
Forsøk 9	34	79	67	52	114
Forsøk 10	29	70	58	63	116



Forsøk med ny slange

Tid til utløsning i testserien med ny slange varierte fra 30 sekunder til 3,5 minutter. Ved de seneste utløsningstidene var det trekk i rommet som gjorde at flammen la seg noe i forhold til senterlinjen. Linje 5 løste også her ut betydelig senere enn de øvrige linjene. Fra testresultatene kan det sees at det ikke var noen klar trend i hvilken av linjene som løste ut først, men ved et par av forsøkene løste linje 1 ut svært tidlig. Utløsningstid og -rekkefølge ved de ulike plasseringene var ikke veldig forskjellig fra serien med test av gammel slange. Utløsningstider for forsøk med ny PVDL-slange kan leses av i Tabell 10.

Tabell 10: Utløsningstid for ny deteksjonslinje. *)Under forsøk 15 ble ikke utløsningstid for linje 1 registrert.

Tid til utløsning for ny slange [s]					
	1	2	3	4	5
Forsøk 11	121	114	139	121	215
Forsøk 12	90	97	87	91	235
Forsøk 13	86	87	85	94	180
Forsøk 14	35	72	65	72	82
Forsøk 15	*	63	60	51	95
Forsøk 16	29	72	49	53	88
Forsøk 17	39	74	47	52	105

Oppsummering av alle forsøkene.

For begge forsøksseriene var det linje 5 som løste ut sist. I de øvrige forsøkene var det vekselvis linje 1 og 3 som løste ut først. Det kan se ut til at linje 3 gjerne løste ut først i de forsøkene som ble påvirket av trekk. De raskeste utløsningstidene var ved linje 1. Kjentegn ved disse testene var at flammen stod rett opp langs senterlinjen. Det er trolig at den tidlige deteksjonstiden er et resultat av at flammen kan ha kommet i direkte kontakt med linjen ved disse forsøkene og bidratt til hurtig deteksjon.

Statistisk undersøkelse av forskjell på utløsningstid for gammel og ny slange

For å avgjøre om det er forskjell i utløsningstid for de to slangetypene kan Student's t-test benyttes. Hypotesen er at de to slangetypene har samme utløsningstid, og det er beregnet den såkalte p-verdi som er et uttrykk for med hvor stor sikkerhet man kan forkaste hypotesen. Som oftest benyttes et signifikansnivå på 5 %, og p-verdien bør være under dette for at hypotesen skal kunne forkastes.

Under forsøk 6, 11 og 12 ble testoppsettet påvirket av mye trekk. Disse tre testene er derfor ikke tatt med i den statistiske undersøkelsen. Det vil si at undersøkelsen tar utgangspunkt i seks tester med gammel slange og 5 tester med ny slange (med unntak av plassering 1 der det ene utløsningstidspunktet ikke ble registrert).

Tabell 11 viser gjennomsnittsverdi og standardavvik for de to slangetyperne. Det er et stort standardavvik for stikkprøven av slangene, noe som tyder på stor spredning i resultatene. Den posisjonen med minst spredning i resultatene er linje nummer 3.

Utregning av p-verdien er gjort i Excel ved hjelp av TTEST-funksjonen, hvor det er antatt en tosidig fordeling, og ens varians for de to populasjonene.

Tabell 11: p-verdi for forsøksseriene.

Slangeposisjon	1	2	3	4	5
Gjennomsnittlig utløsningstid gammel slange [s]	45	80	67	62	122
Gjennomsnittlig utløsningstid ny slange [s]	47	74	61	64	110
Standardavvik gammel slange [s]	24	26	6	15	19
Standardavvik ny slange [s]	26	9	15	19	40
p-verdi	91 %	61 %	42 %	78 %	54 %

Det sees fra Tabell 11 at p-verdien er langt høyere enn 5 %, det kan derfor ikke avvises at de to slangene har lik utløsningstid. Det ses på som sannsynlig at det er den samme utløsningstid på gammel og ny slange.

Ved å anta det ikke er forskjell på ny og gammel slange kan det beregnes en gjennomsnittlig utløsningstid og et nytt standardavvik basert på alle forsøk, med unntak av forsøk 6, 11 og 12.

Tabell 12: Gjennomsnittlig utløsningstid fra forsøkene, standardavvik og 95 % konfidensintervall for PVDL.

slangeposisjon	1	2	3	4	5
Gjennomsnittlig utløsningstid [s]	46,1	77,2	64,3	62,8	116,4
Standardavvik [s]	23,4	19,5	10,9	15,9	29,2
Antall	10	11	11	11	11
95% konfidensintervall for gjennomsnittlig utløsningstid [s]	31,6-60,6	65,6-88,7	57,8-70,7	53,4-72,2	99,1-133,6

Det er ikke noe overlapp mellom konfidensintervallet for gjennomsnittlig utløsningstid ved linjen ytterst på raftet (5) og de andre plasseringene (1-4). Linje 5 løste ut signifikant senere enn de andre linjene.

Det sees at standardavviket er minst for plassering 3 og 4, øverst på veggen og halvveis ut på raftet. Linje 5 har det største standardavviket. Linje 5 var vanskelig å forutsi. Ved trekk kunne det ta svært lang tid før linjen ble varmet opp noe som gav en varierende utløsningstemperatur. Ved stabil branneksporing løste plassering 1 ut ved et tidlig tidspunkt, da flammen stod rett i underkant av linjen. Når flammen derimot ble påvirket av trekk la den seg slik at det tok lengre tid før linje 1 løste ut. Da linje 1 var linjen med kortest deteksjonstid utgjorde forsinkelse som følge av lavere omgivelsestemperatur på grunn av trekk en stor del av deteksjonstiden som gir større standardavvik.

Selv om det ikke var stor forskjell i deteksjonstid på systemet, kan det likevel være at det i praksis vil være tegn på aldring. Alle testene hadde en varighet mindre enn 30 minutter. Det ble observert at PVDL som hadde stått ute var noe sprøere enn PVDL av nyere dato. Det kan ikke sees bort fra at slike endringer, selv om de ikke direkte påvirket utløsningstiden, kan ha



noe å si på økt omfang av lekkasjer i systemet, og eventuelt motstandsdyktighet for ytre påkjenninger. Testene kan ikke si noe systemets pålitelighet, kun deteksjonsegenskaper under like testforhold.

5.4. Sammenligning av teoretisk og målt utløsningstid

Gjennomsnittlig utløsningstid for slangene ble regnet ut i kapittel 5.3. I Tabell 13 vises en sammenligning mellom den gjennomsnittlige utløsningstiden fra forsøkene og teoretisk utløsningstid basert på temperatur og lufthastighet fra Heskestads røyksøyleteori (se kapittel 3.4 for modell). Linje 5 og 4 løste i de fleste tilfeller ut senere enn linje 1 og 2 til tross for at de lå på samme høyde over brannkilden. Siden beregningene gjort for å estimere utløsningstid ble gjort for plassering inntil vegg har ikke plassering 4 og 5 blitt tatt med i sammenligningen.

Tabell 13: Sammenlikning av utløsningstid beregnet med temperatur og hastighet fra Heskestads røyksøyleteori og 95% konfidensintervall for gjennomsnittlig utløsningstid

Plassering	1	2	3
Teoretisk utløsningstid [s]	21	23	29
95 % konfidensintervall for gjennomsnittlig utløsningstid [s]	31,6-60,6	65,6-88,7	57,8-70,7

De teoretiske utløsningstidene var langt hurtigere enn gjennomsnittlig målt utløsningstid. Beregningsmodellen tar utgangspunkt i temperatur og hastighet fra Heskestads røyksøylemodell og vil ikke ta hensyn til en avkjølede effekt fra vegg.

Målte temperaturer sank mer ved økt avstand fra brannkilde enn de teoretiske beregningene. Det var størst avvik i utløsningstid ved plassering 2, og avviket minket noe til plassering 3. Overhenget på testoppsettet vil til en viss grad akkumulere varme gasser. I relativt til beregningene var temperaturen her noe høyere enn forventet, hvilket kan forklare hvorfor avviket så ut til å minke for gjennomsnittlig utløsningstid ved plassering 3.

Parameteranalyse:

For å se på nøyaktigheten til modellen ble det satt inn verdier fra forsøkene (semi-teoretisk modell), for så å sammenligne disse med den gjennomsnittlige målte tiden til utløsning.

Etter testseriene av slangene ble det utført forsøk der en bi-directional probe ble montert ved plassering 2 for å se hvilken lufthastighet som kunne oppnås langs vegg. Lufthastigheten for forsøkene ble målt til omtrent 1,45 m/s (se Vedlegg IX). Sammenlignet med den beregnede lufthastigheten på 3,01 svarer dette til omtrent en halvert hastighet.

Ved forsøkene var også den målte temperaturen lavere enn ved den teoretiske beregningen. For å teste modellen ble det regnet ut et gjennomsnitt av målte temperaturer fra det tynne termoelementet ved plassering 2 (Den lave responstiden gir en mer nøyaktig måling av oppnådd temperatur). Verdiene fra temperaturmålinger ved plassering 2 finnes igjen i Tabell 15 og Tabell 16 merket «T2 tynn».



Temperatur og hastighet ble benyttet til å finne et nytt gjennomsnittlig varmeovergangstall, h , og verdiene ble satt inn i formel (3.16). For sensitivitetsanalysen er det benyttet en lufthastighet på 1,45 m/s, omgivelsestemperatur på 126,6 °C, et varmeovergangstall på 44,4 W/(m²°C) (se Tabell 19).

$$t = - \left(\frac{1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,3 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \cdot 1\text{m} \cdot \left(\frac{(0,00635\text{m})^2 - (0,0043\text{m})^2}{4} \right)}{44,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \cdot 0,00635\text{m} \cdot 1\text{m}} \right) \cdot \ln \left(\frac{90 - 126,6}{20 - 126,6} \right) \approx \underline{\underline{51,9\text{s}}}$$

Resultater fra beregningen er gjengitt i Tabell 14 for sammenligning av de forskjellige tidene til utløsning for plassering 2.

Tabell 14: Parameteranalyse, modell for utløsningstid

Parameteranalyse av beregnet utløsningstid [s]	
Teoretisk utløsningstid	23
Semi-teoretisk utløsningstid	52
95 % konfidensintervall for gjennomsnittlig utløsningstid [s]	65,6-88,7

Den semi-teoretiske beregningsmodellen gir mer realistiske resultater enn den rent teoretiske modellen som er basert på beregninger fra Heskestad. For å simulere plassering av en brannkilde mot en vegg antas en dobling i effekten. Den doblede effekten ble benyttet ved utregning av temperatur og hastighet i røyksøylen. Selv om det er tatt hensyn til lavere temperatur og lavere hastighet blir det stadig vekk for hurtig utløsningstid. De 52 sekundene ligger utenfor konfidensintervallet. Beregning av varmeovergangstallet tar utgangspunkt i en sylinder i det fri. Inntil en vegg vil det ikke være luftstrøm på begge sider av sylinderen som vil forsinke oppvarmingen av slangen. Det er derfor trolig at varmeovergangstallet er for høyt.

5.5. Målt temperatur med termoelement ved utløsning

Forsøksdata viste at linje 5, som er i størst termisk balanse med termoelementet da oppvarmingen her foregår tregest, løste ut ved et sted mellom 77 og 108 grader.

I Tabell 15 og Tabell 16 er målt termoelement-temperatur ved utløsningstidspunkt gjengitt. Det ble satt inn tynne termoelement langs vegg fra og med forsøk 8, og for forsøk 16 og 17 ble det lagt til tynne termoelementer ved plasseringer under raft.

Da det tar en viss tid før et materiale responderer på varmeoverføring vil termoelementer ha en forsinkelse i tråd med materiale og masse. Denne forsinkelsen kan gi store utslag dersom det er nødvendig å registrere hurtige temperaturendringer. Forsinkelsen uttrykkes ved en tidskonstant; definert som tiden det tar til 63 % av maksimal temperaturendring er registrert.

De tynne termoelementene har målt tidskonstant på 3,5-4 sekunder, mens de tykke termoelementene har en målt tidskonstant på 7,9-8,5 sekunder. I vedlegg VI er det gitt en sammenligning av de to typene termoelementer som viser at de tykke termoelementene ikke får med seg hurtige temperaturendringer. Det kan diskuteres hvilke temperaturmålinger som

er mest representative for forsøket. De tynne termoelementene vil gjengi temperatursvingningene mer nøyaktig enn de tykke. Deteksjonslinjene på sin side har en større masse, og vil bruke en viss tid på oppvarming. Dersom temperaturmålingene skal benyttes å lese av utløsningstemperatur vil trolig de tykke termoelementene gi et bedre bilde.

Ved å se på temperaturmålingene kommer det frem at plassering nr. 5, ytterst på raft, eksponeres for en markant lavere temperatur enn plasseringene nær og langs vegg. Den langsomme oppvarmingen vil forsinke utløsningstiden betydelig, noe som kom frem i resultatene da linje nr. 5 uten unntak løste ut sist, betydelig senere enn de andre linjene.

Gammel slange:

Tabell 15: Målt temperatur ved utløsning av gammel slange. *)svak signaloverføring – resultatet ses bort fra.

Målt temperatur ved utløsning - gammel slange. [°C]										
	T1	tynn	T2	tynn	T3	tynn	T4	tynn	T5	tynn
Forsøk 3	*	-	*	-	103,5	-	109	-	98	-
Forsøk 5	119,6	-	126	-	153,1	-	114,2	-	91,8	-
Forsøk 6	82,9	-	89,2	-	90,9	-	97,2	-	78,1	-
Forsøk 7	123,2	-	*	-	94,5	-	102,2	-	81,2	-
Forsøk 8	122,1	153,2	*	135,4	85,1	86,1	83,4	-	93,3	-
Forsøk 9	122,9	145	96,3	88,8	83,4	105,6	109,1	-	88,5	-
Forsøk 10	108,3	134,6	129,5	137,5	125,6	145,2	99,1	-	76,8	-
Gjennomsnitt	113,2	144,3	110,3	120,6	105,2	112,3	102,0	-	86,8	-

Ny slange:

Tabell 16: Målt temperatur ved utløsning for ny slange. **) ikke registrert tidspunkt for utløsning.

Målt temperatur ved utløsning - ny slange. [°C]										
	T1	tynn	T2	tynn	T3	tynn	T4	tynn	T5	tynn
Forsøk 11	75,9	85,3	108,5	128,9	76,6	96,1	109,6	-	96,3	-
Forsøk 12	91,4	106,3	99,7	89,9	104,7	143,2	96,9	-	91,4	-
Forsøk 13	121,4	160,8	113,1	153,2	117,5	109,8	91,2	-	78,2	-
Forsøk 14	104,1	126,2	129,1	142,2	117,7	111,1	104	-	96,5	-
Forsøk 15	**	**	107,2	132,1	120,2	132,2	110,8	123,2	98,5	108,7
Forsøk 16	114,9	116,5	95,2	106,9	129,4	144,3	113,4	126,6	108,4	119,7
Forsøk 17	142	178,9	122,7	151,4	140,4	163,1	112,6	127,5	84	90,3
Gjennomsnitt	108,3	129,0	110,8	129,2	115,2	128,5	105,5	125,8	93,3	106,2

**Samlet gjennomsnitt:**

Det ble i avsnitt 5.3 konkludert med at deteksjonslinjene brukt under forsøkene hadde samme utløsningstid uavhengig av aldring. I Tabell 17 har det blitt regnet ut gjennomsnittlig utløsningstemperatur basert på alle tellende forsøk.

Den langsomme oppvarmingen ved plassering nr. 5 gir kan gi et bilde på hvilken temperatur deteksjonslinjen vil ha ved utløsningstidspunkt. Siden temperaturstigningen er relativt rolig og uten markante hopp i temperaturkurven, kan det antas en jevn varmeoverføring i takt med temperaturøkningen. Det tykke termoelementets temperatur har blitt valgt som utgangspunkt da disse vil ha lengre responstid, noe som trolig samsvarer bedre med at slangen bruker tid på å varmes opp. Gjennomsnittlig målt utløsningstemperatur for plassering 5 var 90 grader.

Tabell 17: Gjennomsnittlig temperatur ved utløsnings for begge slangetyper.

Gjennomsnittlig temperatur ved utløsning - begge slangetyper. [°C]										
	<i>T1</i>	<i>tynn</i>	<i>T2</i>	<i>tynn</i>	<i>T3</i>	<i>tynn</i>	<i>T4</i>	<i>tynn</i>	<i>T5</i>	<i>tynn</i>
Gjennomsnitt	110,7	134,1	110,6	126,6	110,2	123,7	103,8	125,8	90,1	106,2



6. Beregning av slangetemperatur ved utløsning

For å svare på hvilken temperatur slangene hadde ved utløsningstidspunkt ble det i kapittel 3.6 laget en modell der testresultater fra forsøkene kunne brukes for å finne oppvarmingen av slangen ved hvert tidssteg. Ved å kombinere testdata og utregninger ble temperaturendringen i slangen regnet ut numerisk ved hjelp av Excel for noen av forsøkene. Det ble så laget et script i MATLAB som kunne generere de beregnede utløsningstemperaturene for samtlige forsøk.

6.1. Beregning av slangetemperatur ved utløsning basert på målte temperaturer

I kapittel 3.4, formel (3.16), ble en modell for beregning av utløsningstemperatur med temperaturmålinger fra forsøkene vist. Modellen ble benyttet til å bestemme temperatur på deteksjonskablene ved utløsningstidspunktet. For å finne varmeovergangstallet basert på filmtemperaturen mellom luft og slange ble det antatt teoretisk utløsningstemperatur på slangene på 90 grader (se Tabell 17 kapittel 5.5).

I Tabell 18 har utløsningstemperatur for slangene blitt beregnet ved hjelp av tidligere utregnet lufttemperatur og lufthastighet samt temperaturmålinger fra testene. På grunn av dårlig signaloverføring fra termoelement i noen av forsøkene blir temperaturer merket med stjerne sett bort fra i videre beregninger.

Den beregnede utløsningstemperaturen for slangene basert på måledata fra de tykke termoelementene ligger i hovedsak mellom 75 og 100 grader for alle plasseringene. Sammenligning av tykke og tynne termoelementer viser at den beregnede slangetemperaturen fra da tynne termoelementene ligger mellom 5 og 20 grader høyere for tilsvarende plassering. Dette kommer av at de målte temperaturene ved tynt termoelement også var høyere.

Tabell 18: Beregnet utløsningstemperatur for gammel slange. *) svak signaloverføring fra termoelement under forsøk – resultatet ble sett bort fra **) ikke registrert tidspunkt for utløsning.

Beregnet temperatur ved utløsning - gammel og ny slange. [°C]										
	T1		T2		T3		T4		T5	
	<i>tykk</i>	<i>tynn</i>	<i>tykk</i>	<i>tynn</i>	<i>tykk</i>	<i>tynn</i>	<i>tykk</i>	<i>tynn</i>	<i>tykk</i>	<i>tynn</i>
Forsøk 3	*	-	*	-	93,7	-	92,3	-	69,2	-
Forsøk 5	74,6	-	91,8	-	122,3	-	83,9	-	76,3	-
Forsøk 6	77,3	-	81,4	-	85,9	-	88,3	-	75,3	-
Forsøk 7	72,8	-	*	-	90,5	-	63,3	-	75,5	-
Forsøk 8	90,4	108,7	*	114,9	85,8	91,0	67,4	-	85,4	-
Forsøk 9	73,3	96,9	85,4	75,7	67,3	91,7	81,3	-	79,1	-
Forsøk 10	72,3	95,2	105,2	111,6	100,3	113,6	79,4	-	68,7	-
Forsøk 11	60,5	68,2	93,3	99,3	67,4	87,1	91,4	-	90,9	-
Forsøk 12	71,2	87,3	88,1	75,7	92,0	116,8	81,8	-	89	-
Forsøk 13	86,2	104,5	86,9	109,1	92,1	84,8	67,7	-	73	-
Forsøk 14	70,1	89,5	115,7	133,7	101,5	93,8	87,2	-	84,9	-
Forsøk 15	**	**	89,7	109,5	102,3	119,0	82,3	99,1	90	102,7
Forsøk 16	72,8	87,0	72,0	79,9	98,9	110,6	79,8	96,3	91,6	103,4
Forsøk 17	78,8	97,6	105,2	129,9	92,4	116,3	84,4	98,3	71,2	77,1
Gjennomsnitt	75,0	92,8	92,2	103,9	92,3	102,5	80,7	97,9	80,0	94,4

Sensitivitetsanalyse

En av antakelsene som ble gjort for å kunne regne ut utløsningstemperatur på slangene var at lufthastigheten samsvarte med beregninger fra Heskestads røyksøyleteori. Estimert tok utgangspunkt i en fri brann med dobbelt så stor effekt som den opprinnelige brannkilden. Doblingen av effekten skulle tilsvare påvirkningen en vegg vil ha på en brann (se avsnitt 3.2), imidlertid vil luftstrømmens hastighet reduseres noe langs veggen. Foreløpige målinger med bi-directional probe ved posisjon 2 viser at hastigheten var omtrent 1,45 m/s. Dette er vesentlig lavere enn den beregnede verdien på 3,01 m/s. I alle beregningene er det tatt utgangspunkt i 3,01 m/s.

Ved en lavere lufthastighet vil varmeoverføring til slangen gå tregere, slik at slangene ved utløsningstidspunkt i realiteten har en lavere temperatur. Ved å benytte en lavere lufthastighet i regnemodellen vil også den beregnede slangetemperaturen bli lavere. Siden forskjellen i teoretisk og målt lufthastighet viste seg å være markant var det nødvendig å evaluere hvilken innvirkning endring i lufttemperatur ville ha på den utregnede slangetemperaturen.

Da lufthastighet spiller inn på varmeoverføring til et objekt var det nødvendig å se an hvilken feilmargin antakelsen om å benytte beregnet lufthastighet for en fri brann ville gi. En endring



av hastighet vil endre varmeovergangstallet, h , og igjen føre til endringer i temperatur. Det ble derfor utført en sensitivitetsanalyse der verdier fra plassering 2 ligger til grunn (se Tabell 19).

Tabell 19: Utslag i varmeovergangstall ved slangetemperatur lik 20 og 90 grader og en lufttemperatur på 164,6 grader for plassering 2 ved endring i lufthastighet.

Sensitivitet	u2	h2 snitt
-52%	1,45	44,4
-20 %	2,408	56,2
0 %	3,01	62,4
20 %	3,612	67,9

Gjennomsnittlig utløsningstemperatur og sensitivitet

Siden det ble konkludert med at det ikke var forskjell på de to slangetypene har det blitt regnet ut et gjennomsnitt av utløsningstemperaturen basert på testresultater fra begge seriene. Gjennomsnittlig utløsningstemperatur for de forskjellige plasseringer kan leses av i Tabell 20 ved en lufthastighet på 3,01 m/s.

Tabellen viser også endring i beregnet utløsningstemperatur ved et avvik i lufthastighet på +/- 20 % og ved en nedjustering til den målte lufthastigheten på 1,45 m/s (et avvik på -52%).

Tabell 20: Gjennomsnittlig beregnet slangetemperatur ved forskjellig lufthastighet.

Beregnet utløsningstemperatur ved endring av hastighet											
		T1		T2		T3		T4		T5	
	Δu [%]	tykk	tynn	tykk	tynn	tykk	tynn	tykk	tynn	tykk	tynn
u=1,45 m/s [°C]	-52	64,2	78,6	81,2	91,6	80,2	88,9	69,8	81,2	73,9	84,5
Avvik [%]		-12,0	-12,7	-10,1	-10,0	-11,0	-11,1	-11,4	-14,3	-6,4	-8,9
u=2,41 m/s [°C]	-20	70,2	86,5	87,7	98,9	87,2	96,8	76,0	90,6	77,6	90,5
Avvik [%]		-3,7	-3,9	-2,9	-2,9	-3,2	-3,2	-3,4	-4,4	-1,8	-2,5
Beregnet utløsnings-temperatur u=3,01m/s [°C]	0	72,9	90,1	90,3	101,8	90,1	100,1	78,7	94,7	79,0	92,8
u=3,61 m/s [°C]	+20	75,1	92,9	92,3	104,0	92,4	102,5	80,8	98,0	80,0	94,4
Avvik [%]		3,0	3,1	2,2	2,2	2,5	2,5	2,7	3,4	1,3	1,8

Ut fra de beregnede temperaturene kan det se ut til at utløsningstemperaturen på PVDL ligger mellom 80 og 90 grader celsius. Betrachningen baserer seg på temperaturberegningene ved termoelementene ved plassering 5, som gav relativt stabile temperaturer over tid. Ved de andre plasseringene var det store utslag i den målte temperaturen. Ved brå temperaturendringer vil ikke termoelementene registrere endringen, og avlest temperatur kan variere mye fra faktisk temperatur. Fra Tabell 20 oppgis utløsningstemperaturen ved



plassering 1 å ligge på rundt 70 grader. Denne beregningen tar ikke utgangspunkt i at slangene kan ha løst ut som følge av direkte kontakt med flammen.

6.2. Anbefaling

Ved montering under raft bør deteksjonslinjene plasseres så nær veggen som mulig.

Da flammer gjerne søker opp langs veggen vil en plassering ytterst på et raft være lite effektivt sammenlignet plasseringer som ligger langs vegg eller lengre inn på raftet. Montering ytterst på raft forsinket deteksjonstiden betydelig til tross for at denne plasseringen kan synes å være nærmere en tenkt brannkilde. Dette sees tydelig i forsøkene, der linje ved plassering nummer 5 (ytterst på raft) løste ut betydelig senere enn øvrige linjer. Dette er i tråd med anbefalingene gitt av Andersson, Persson & Tuovinen (2006).



7. Konklusjon

Rapporten omhandler utvendig deteksjon ved verneverdige bygninger og tar for seg linjedeteksjonssystemet Pneumatisk Varmedetekerende Linje (PVDL). Systemet har blant annet blitt benyttet ved stavkirker og tett trehusbebyggelse siden 90-tallet.

Noen av PVDL-systemene har stått montert utendørs i over 15 år. Det har vært uvisst i hvilken grad vær og vind har påvirket deteksjonsegenskapene. Et av spørsmålene som skulle besvares i rapporten var hvor vidt alder og temperatursvingninger hadde virket inn på deteksjonskablenes evne til å detektere en brann.

Det finnes per i dag ingen offentlig standard for montering av linjedeteksjonssystemer. Avhengig av plassering vil det kunne være store forskjeller i tid til deteksjon.

For videre arbeid er det også relevant å vite hvilken temperatur deteksjonssystemet utløser ved. Dette vil kunne benyttes til å simulere utløsning for oppsett over flere etasjer, som kan være vanskelig å få til i et laboratorium.

For å svare på problemstillingene ble det bygget et testoppsett med en vegg og et raft (takutstikk) der deteksjonslinjene både kunne monteres på veggen og innunder raftet. I testoppsettet ble det benyttet en propanbrenner med en effekt på 30 kW som var plassert helt inntil veggen. Ved plassering tett inntil en vegg vil dette tilsvare en effekt på 60 kW. Valg av den relativt lave effekten gjorde det mulig å sammenligne temperaturer ved de forskjellige deteksjonslinjene slik spørsmålet om hva som var optimal plassering av deteksjonslinjen innunder et takutstikk kunne besvares.

For å avgjøre hva som ville være den optimale plasseringen under takutstikket ble det i hvert forsøk kjørt test av fem forskjellige plasseringer. Det ble montert tre linjer øverst langs veggen og en linje midt på utspringet basert på tidligere gitte anbefalinger. Det ble også montert en deteksjonslinje ytterst på raftet, da det er observert at dette er en mye brukt plassering for slike anlegg.

For å kontrollere testbetingelsene slik at det ble mulig å sammenligne testene ble forsøkene utført innendørs i brannlaboratoriet ved Høgskolen i Stord/Haugesund.

I alt ble det utført 14 forsøk: en serie á 7 forsøk med gammel PVDL-slange og en serie á 7 forsøk med ny PVDL-slange. Den hurtigste deteksjonslinjen løste ut etter om lag 30 sekunder, plassert på veggen. Den langsamste utløsningstiden var på 8 minutter for deteksjonslinjen plassert ytterst på raftet. Utløsningstiden for deteksjonslinjene plassert på vegg og innerst på raftet lå på mellom 1 og 2 minutter. Linjen plassert ytterst på raftet løste i alle forsøkene ut betydelig senere enn de øvrige linjene.

Under forsøkene ble det observert et gjentakende mønster ved hvilken rekkefølge deteksjonslinjene løste ut. Den nederste plasseringen langs vegg løste gjerne ut først mens linjen som var montert ytterst på raftet løste ut sist. De øvrige linjene løste ut ganske likt. Det kan se ut til at linjen som var plassert halvveis inn på takutstikket løste ut omtrent på samme



tid som linjen ved samme høyde langs vegg. Disse to plasseringene lå svært nær hverandre i horisontal avstand.

En statistisk sammenligning av målt utløsningstid for gammel og ny slange fastslo at det ikke var noen signifikant forskjell mellom de to slangetypene. Det kan derfor ikke påvises at deteksjonssystemets funksjon har blitt endret av å ha stått utendørs i 15 år.

Siden utløsningstidene var de samme for begge opplagene av PVDL, kunne testresultatene fra begge forsøksserier benyttes for å estimere utløsningstemperaturen. Ved å gjøre beregninger på varmeoverføring fra luft til et sylindrisk termisk tynt objekt var det mulig å estimere utløsningstemperatur. Beregningene baserte seg på utregnet lufthastighet fra Heskestads røyksøyleteori. En luftstrøm inntil en vegg vil ha en lavere hastighet enn en like stor luftstrøm plassert i det fri. En lavere lufthastighet vil redusere varmeoverføringen til slangen og dermed føre til lavere temperatur for slangen ved utløsningstidspunkt.

Det ble derfor gjort en sensitivitetsanalyse for å se på hvilken innvirkning endring i lufthastigheten ville ha på beregnet utløsningstemperatur. Beregninger viste at utløsningstemperatur for slangene var på mellom 80 og 90 grader.

Til tross for innendørs testing ble noen av forsøkene forstyrret av lett trekk. Dette gjorde at flammen ble ustabil og temperaturen målt langs vegg og under takutstikk var noe lavere under disse forsøkene. I tester påvirket av trekk løste linjene gjerne ut ovenfra og ned, mens i øvrige tester var det gjerne motsatt. Testresultatene kan tyde på at oppsamling av varme under takutstikket kan være en viktig faktor dersom brannen er utsatt for vind.

Ved stabile testforhold løste den første deteksjonslinjen ut innen 30 sekunder. Ved riktig betingelser for bruk vil PVDL detektore brann tidlig. I området over den synlige flammen avtar temperaturen hurtig med høyden. Det bemerkes for øvrig at forskjellige deteksjonssystemer har forskjellige styrker og svakheter. Siden linjedeteksjon er avhengig av varme for å løse ut anbefales det ikke å montere linjer langt fra en forventet brannkilde. Avstand til deteksjonslinje vil kunne avhenge av hvilket brannscenario som forventes, men ved montering høyt oppe på vegg vil det være sannsynlig at en brann ikke vil detekteres før den har tatt godt tak i kledning og i verste fall underliggende konstruksjon. I tilfeller der det ikke er egnet å montere deteksjonslinjene rimelig avstand til forventet arnested bør det vurderes om det er andre systemer som er bedre egnet.

En brann som starter nær en vegg vil i de fleste tilfeller søke opp langs fasaden. Temperatur inntil veggen vil derfor være høyere enn temperaturer ved samme høyde et stykke ut fra veggen. Forsøkene med forskjellige plassering viste at plassering av linjedeteksjon i ytterkant av et raft vil være lite egnet for tidlig deteksjon av brann sammenlignet med plasseringer nær vegg. Dette til tross for at en linje montert ytterst på et takutstikk gjerne kan synes å ligge nærmere brannkilden.



Videre arbeid

Testoppsettet i denne oppgaven ble laget slik at det kunne brukes flere ganger. Under arbeidet med denne rapporten har det kommet fram flere ting som kunne vært interessante å teste ut.

En parameter som ble sett bort fra i dette arbeidet var vindpåvirkning. Det kan være aktuelt å se på hvilken effekt vind har på deteksjonslinjene. Det kan være at et takutstikk kan bidra til oppsamling av varme. I hvilken grad denne effekten vil være gjeldende og hvor stor påvirkning vinden vil ha på utløsningstiden kan være relevant å se nærmere på.

Det kan være aktuelt å se på effekten av et linjedeteksjonssystem nede langs grunnmur som har til hensikt å detektere branner som starter ved bakkenivå. Eksempelvis en gressbrann. I så tilfelle vil det kunne være aktuelt å se på hvordan deteksjonslinjene best mulig kan beskyttes mot hærverk uten at deteksjonsegenskapene påvirkes i stor grad.

For å bestemme nøyaktig utløsningstemperatur for PVDL kan det for eksempel gjøres forsøk der trykksatte slanger legges i et vannbad som langsomt varmes opp.

De teoretiske modellene i denne rapporten har i stor grad basert seg på empiriske tilnærminger som beskriver at en flamme plassert inntil en vegg vil gi en dobbel effekt. Ved å måle lufthastigheten ved senterlinje viste det seg imidlertid at de teoretiske beregningene gav store avvik. Det kunne vært interessant om det ble utført forsøk som tok for seg hva som skjer med temperatur og lufthastighet i en brann som plasseres inntil en vegg.

Det kan være aktuelt å lage simuleringer av utløsningstiden til deteksjonsslangene i FDS og sammenligne forsøksresultatene i denne rapporten (det er allerede gjort et foreløpig studie på dette).



8. Referanser

- Andersson, P., & Persson, H. (2006, nr 34). Försök visar hur värmedetektionskabler bör placeras. *BrandPosten*, s. 28.
- Andersson, P., Persson, H., & Tuovinen, H. (2006). *Råd för installation av värmedetektionskabler på ytterfasad*. Borås, Sverige: SP Fire Technology.
- Atreya, A. (2008). Convection Heat Transfer. I S. o. Engineers, *SFPE Handbook*. Massachusetts: National Fire Protection Association.
- Bryan, J. L. (1993). *Fire detection and suppression systems*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Chapman, A. J. (1987). *Fundamentals of heat transfer*. New York: Macmillan.
- Det kongelige justis- og politidepartement. (2009, mai 08). *St. meld. nr. 35 (2008-2009)*. Hentet fra Justis- og beredskapsdepartementet:
<http://www.regjeringen.no/pages/2186489/PDFS/STM200820090035000DDDPDFS.pdf>
- Drysdale, D. (2008). Thermochemistry. I S. o. Engineers, *SFPE Handbook*. Massachusetts: National Fire Protection Association.
- Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics (3.ed.)*. Chichester: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- European Committee for Standardization. (2011, Mars). Draft - Fire detection and fire alarm system - Part 22: Resettable line type heat detectors. *prEN 54-22*. Brüssel: European committee for standardization.
- Hagen, B. C. (2004). *Grunnleggende Brannteknikk*. Haugesund: Bjarne Christian Hagen.
- Holman, J. (1992). *Heat Transfer 7.ed. (in SI units)*. London: McGraw-Hill book company.
- Jensen, G. (2006). *Minimum Invasive Fire Detection for Protection of Heritage*. Riksantikvaren; Historic Scotland.
- Johansson, N., Walqvist, J., & Hees, P. V. (2012, Februar 9). Detection of a typical arson fire scenario - comparison between experiments and simulations. *Journal of Fire Protection Engineering*, ss. 23-44.
- KA. (2012). *Hvordan forebygge og redusere skader ved påsatte branner?* Hentet fra KA - Kirkelig arbeidsgiver- og interesseorganisasjon:
http://www.ka.no/_service/481/download/id/25010/name/kirkebrann2012.pdf
- Kanury, A. M. (1975). *Introduciton to Combustion Phenomea*. New York: Gordon and Breach.
- Karlsson, B., & Quintiere, J. G. (2000). *Enclosure Fire Dynamics*. Boca Raton: CRC press.



Miljøverndepartementet. (2013, mai 02). *Lov om kulturminner*. Hentet fra Lovdata:

<http://www.lovdato.no/all/hl-19780609-050.html#2>

Pitts, D. R., & Sissom, L. E. (1998). *Schaum's outline of theory and problems of heat transfer, 2nd ed.*

New York: McGraw-Hill.

Riksantikvaren. (2012, April 11). *Bevaringsprogrammet for brannsikring av tette trehusmiljøer og stavkirker*. Hentet Mars 22, 2013 fra Riksantikvaren:

http://www.riksantikvaren.no/Norsk/Prosjekter/Bevaringsprogrammene/Brannsikring_av_tette_trehusmiljoer_og_stavkirker/

Riksantikvaren. (2013, Februar 05). *Bevaringsprogrammet for stavkyrkjene*. Hentet Mars 22, 2013 fra

<http://www.riksantikvaren.no/Norsk/Prosjekter/Bevaringsprogrammene/Stavkirkene/>

Staurheim, I. (2011). Påsatt kirkebrann - en trussel mot samfunnet? *Bevis nr. 4/2011*, 13-15.

Sulheim, C. (2000). Installation of a fire protection system in the Vågå church. *Europa Nostra*, 27-28.

Tewarson, A. (2002). Generation of heat and chemical compounds in fires. I P. J. al, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 3.ed* (ss. 3-82:3-161). Quincy, Massachusetts USA: National Fire Protection Association.

Tien, C. L., Lee, K. Y., & Stretton, A. J. (2008). Radiation Heat Transfer. I S. o. Engineers, *SFPE Handbook*. Massachusetts: National Fire Protection Association.

Troitzsch, J. (2004). *Plastics Flammability Handbook, 3.ed.* I J. Troitzsch. Munich: Hanser Publishers.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists. 9th ed.* Boston: Pearson Education, Inc.

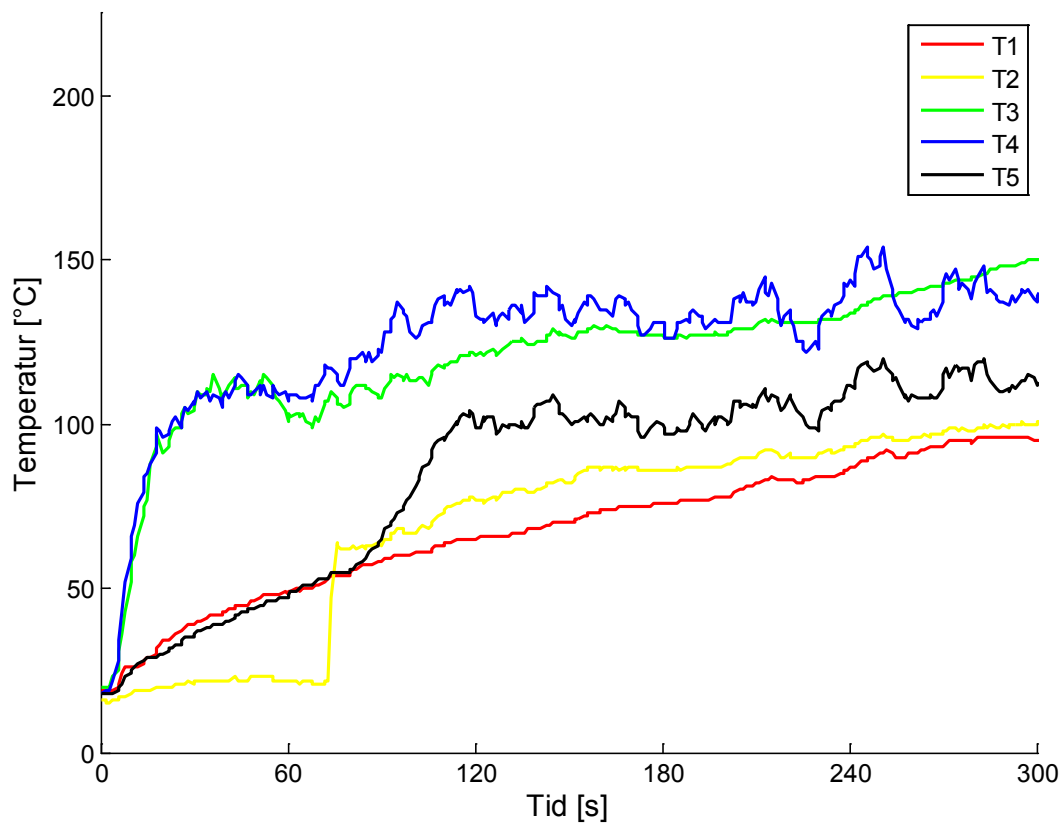


I. Temperaturmålinger

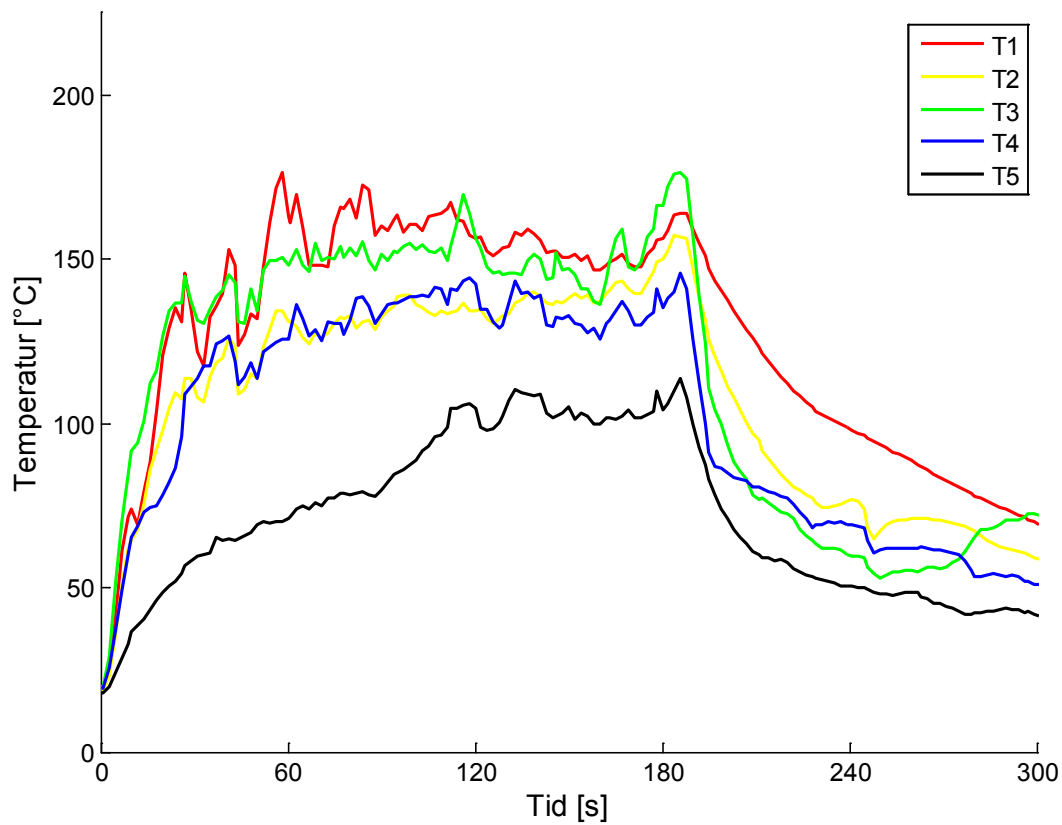
Temperaturmålinger fra alle forsøkene kan leses av under. Termoelement «T2» har hatt dårlig signaloverføring under forsøk 3, 7 og 8, les av for «T2 tynn» for temperaturmålinger ved denne plasseringen. Det samme sees også i forsøk 3 for plassering nr. 1. Det gjøres oppmerksom på at de tynne termoelementene (merket «tynn») har en noe høyere temperaturmåling enn de tykke på grunn av hurtigere responstid.



Forsøk 3

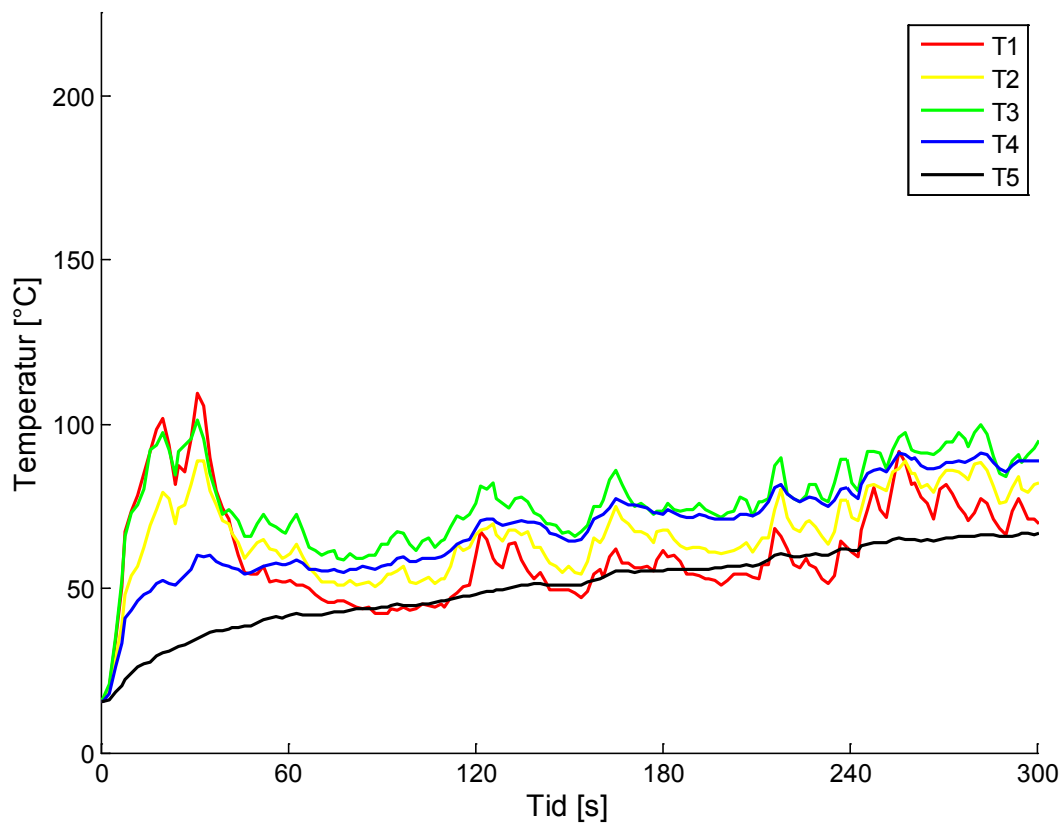


Forsøk 5

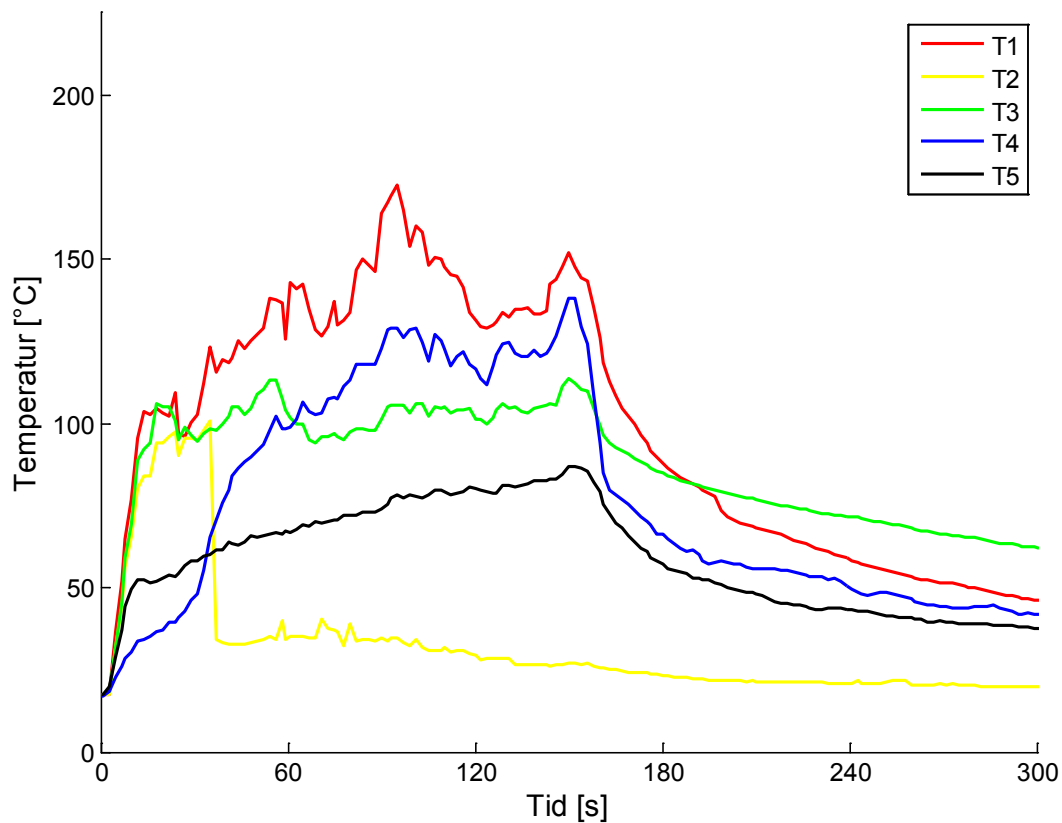




Forsøk 6

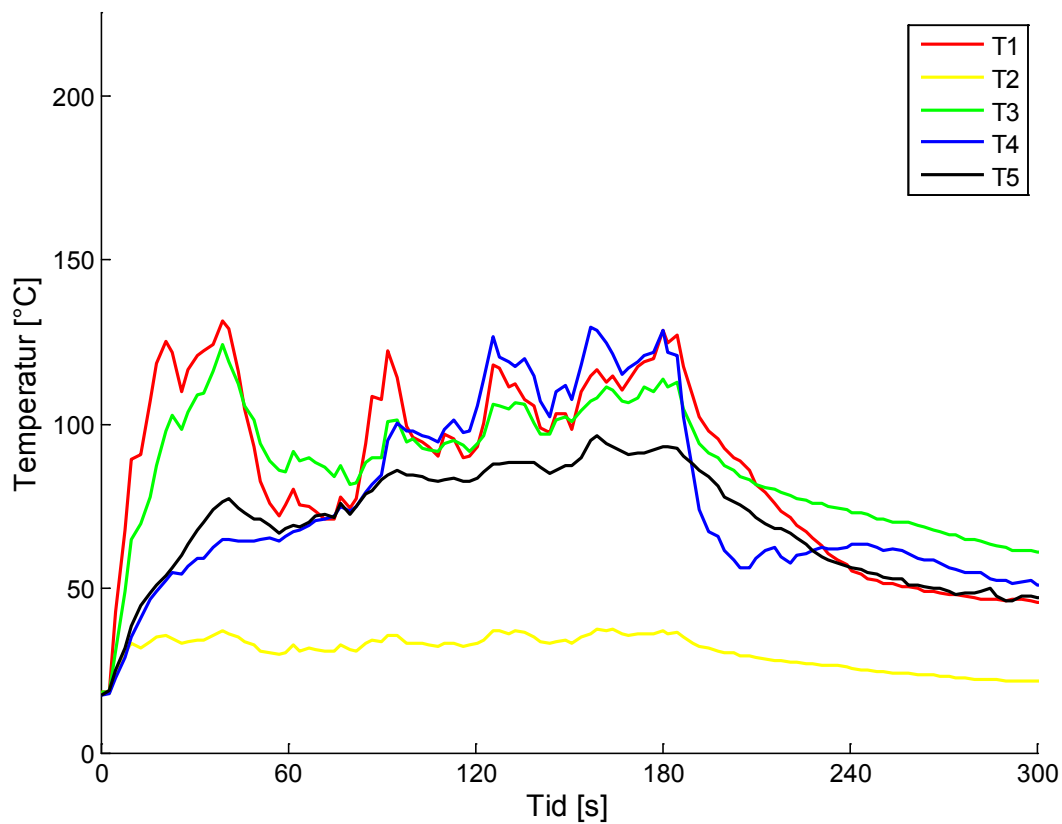


Forsøk 7

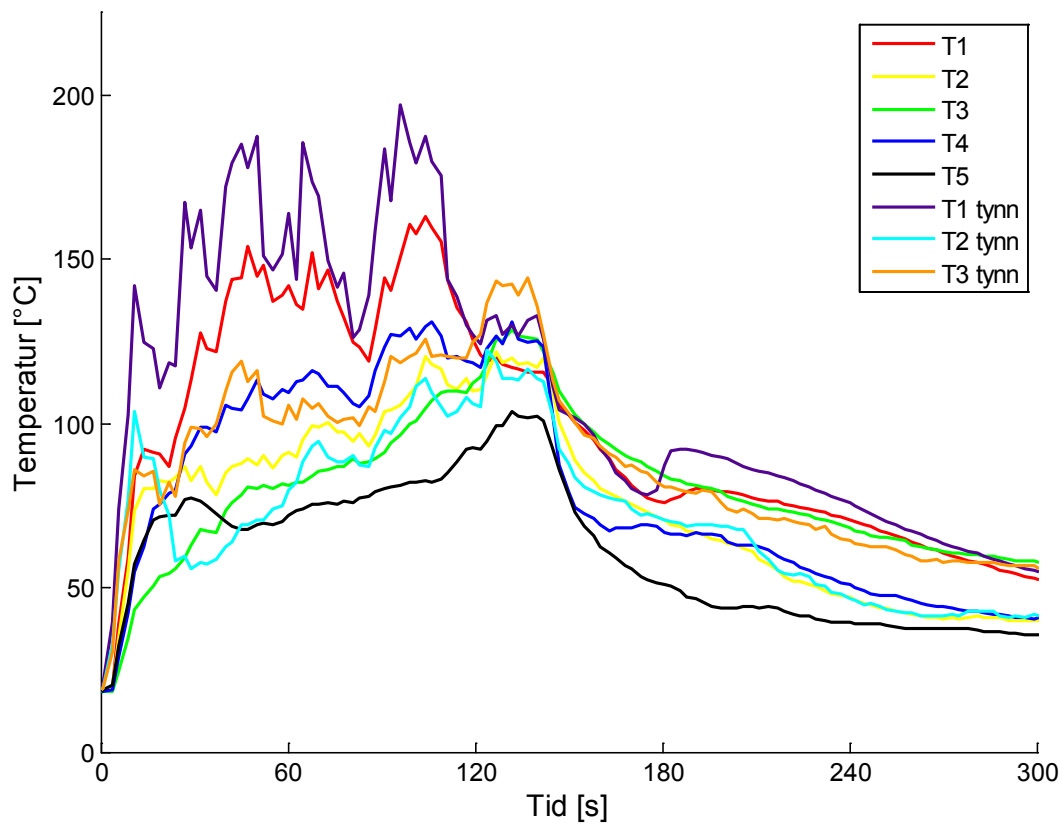




Forsøk 8

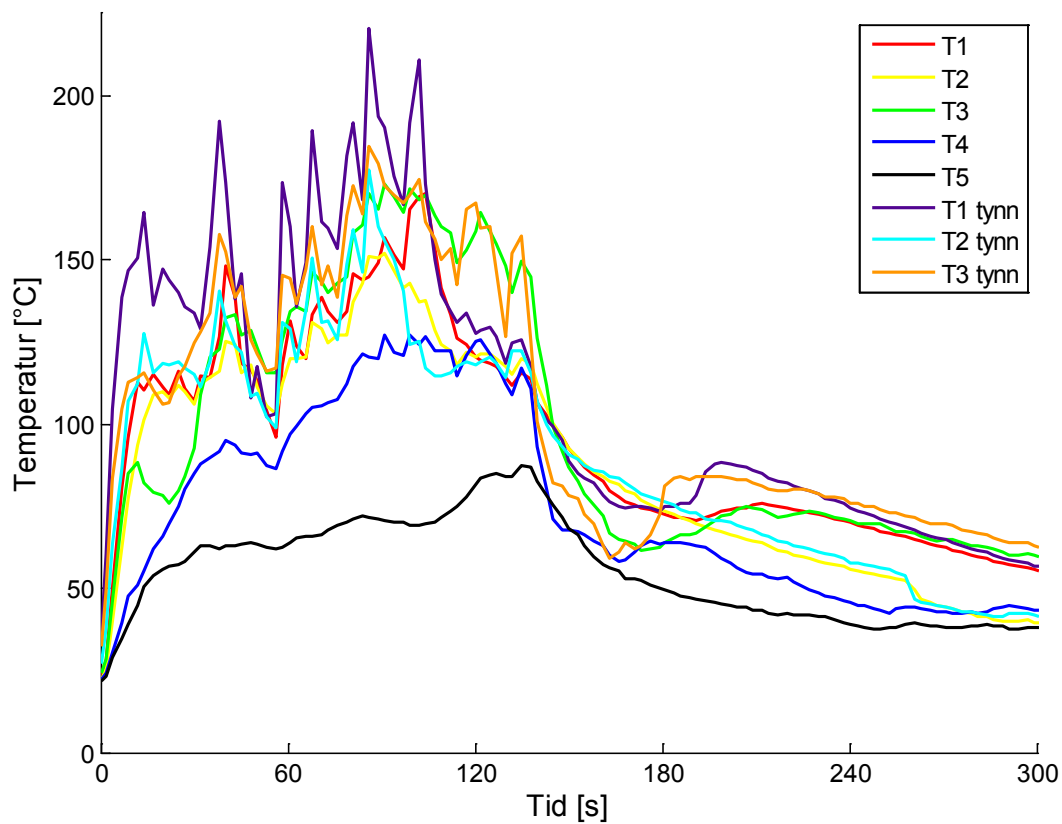


Forsøk 9

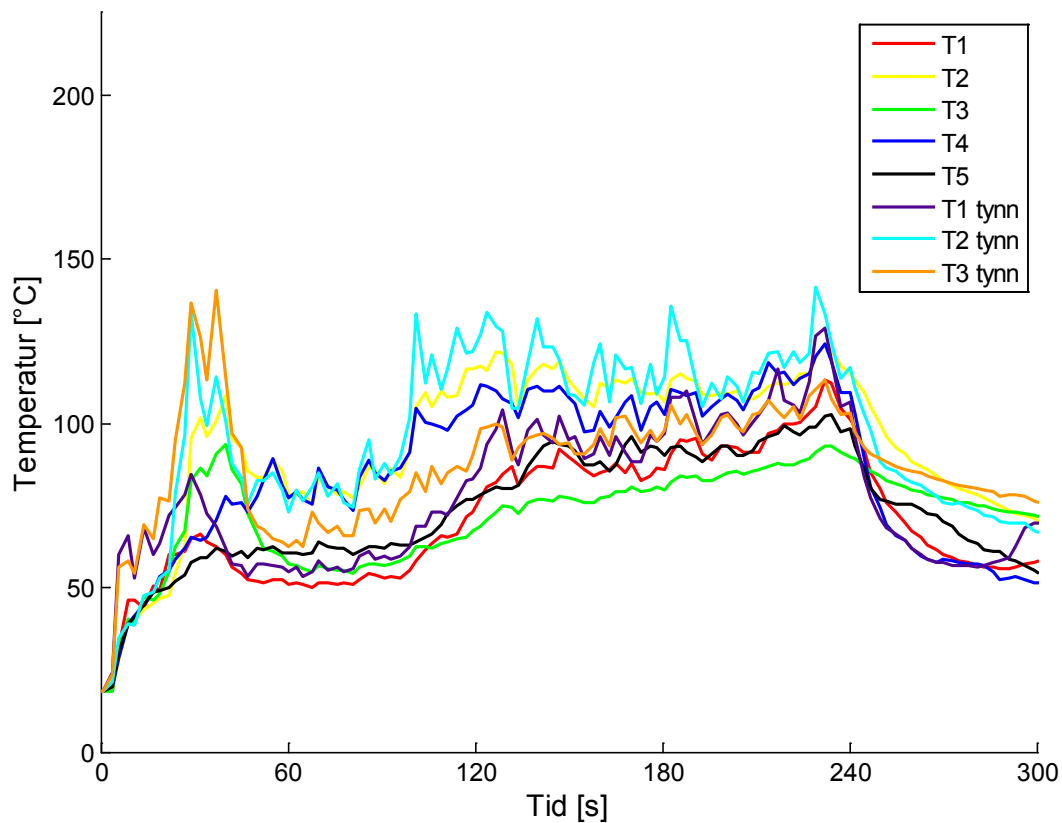




Forsøk 10

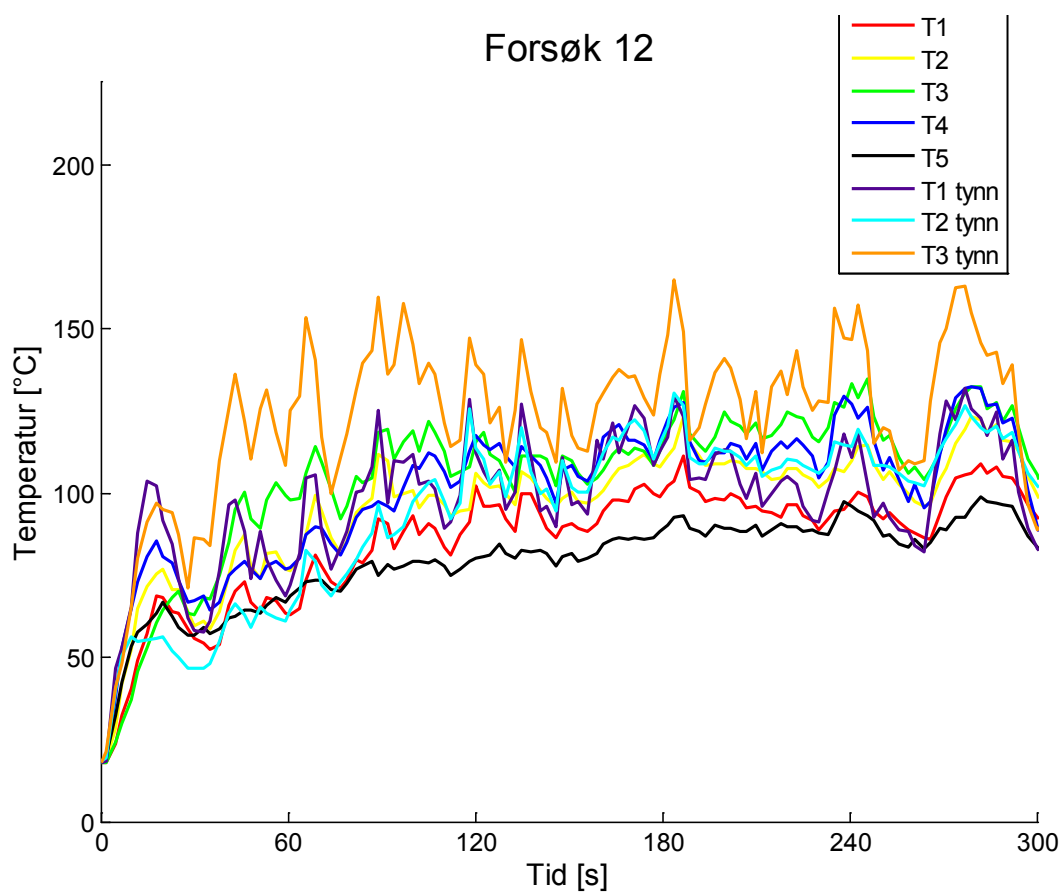


Forsøk 11

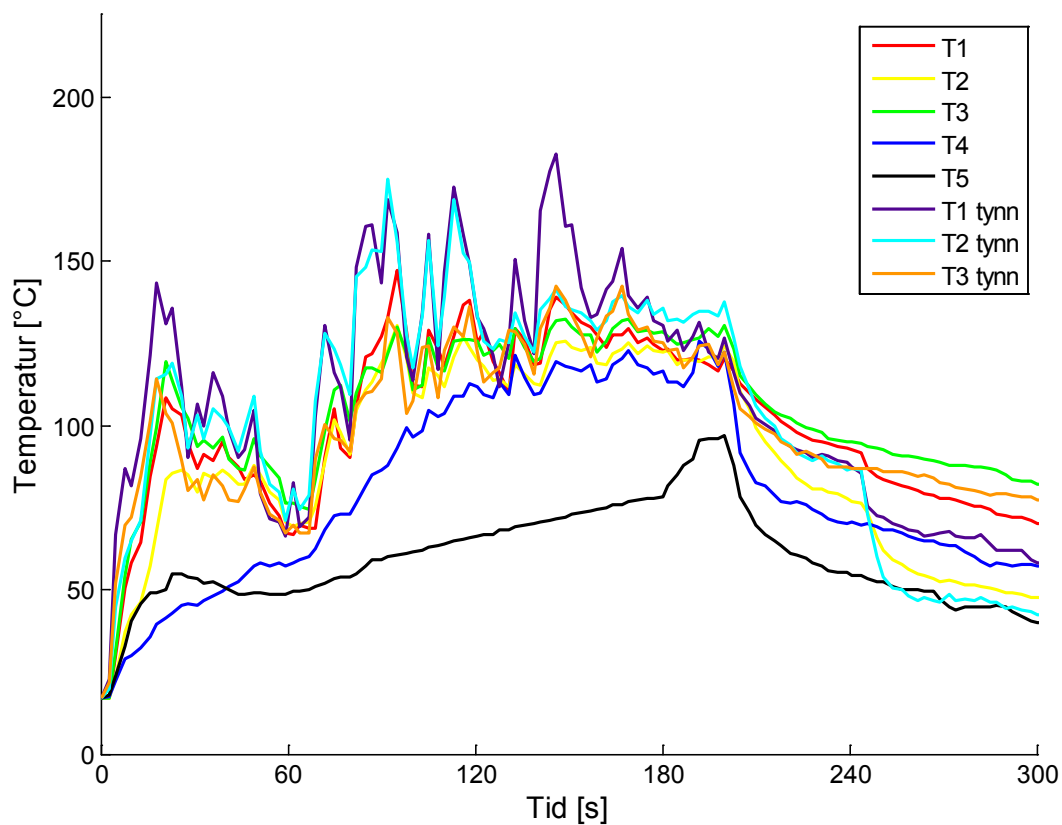




Forsøk 12

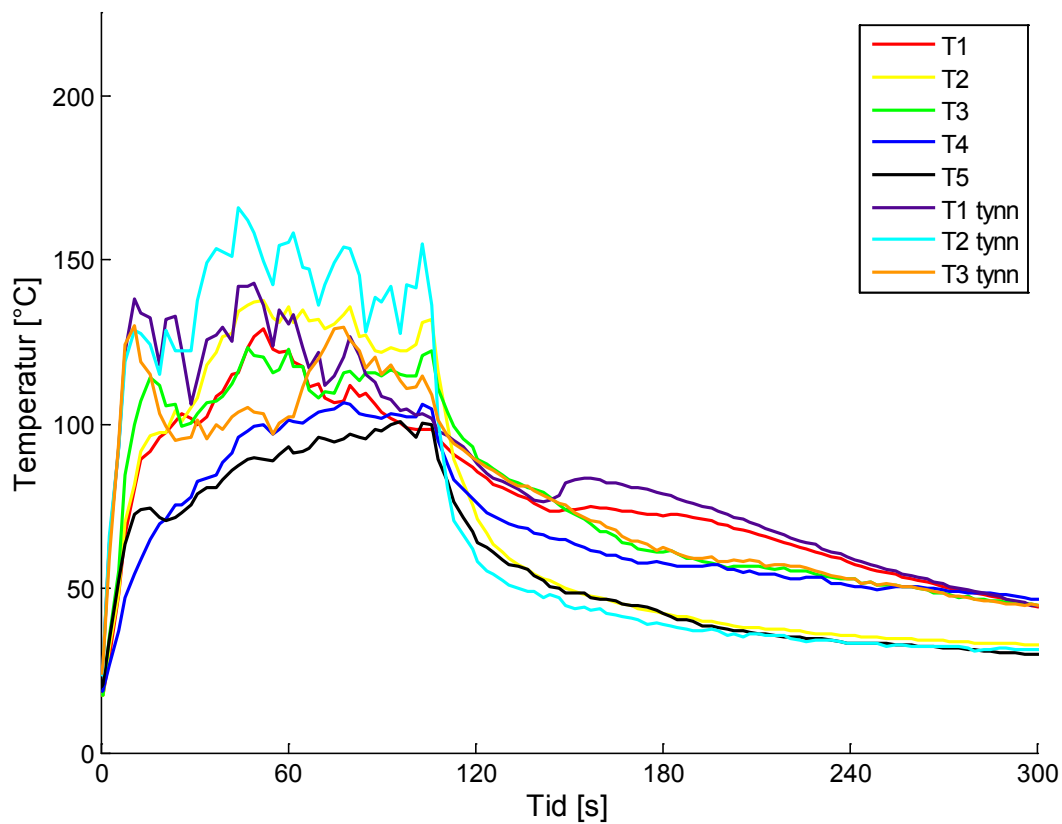


Forsøk 13

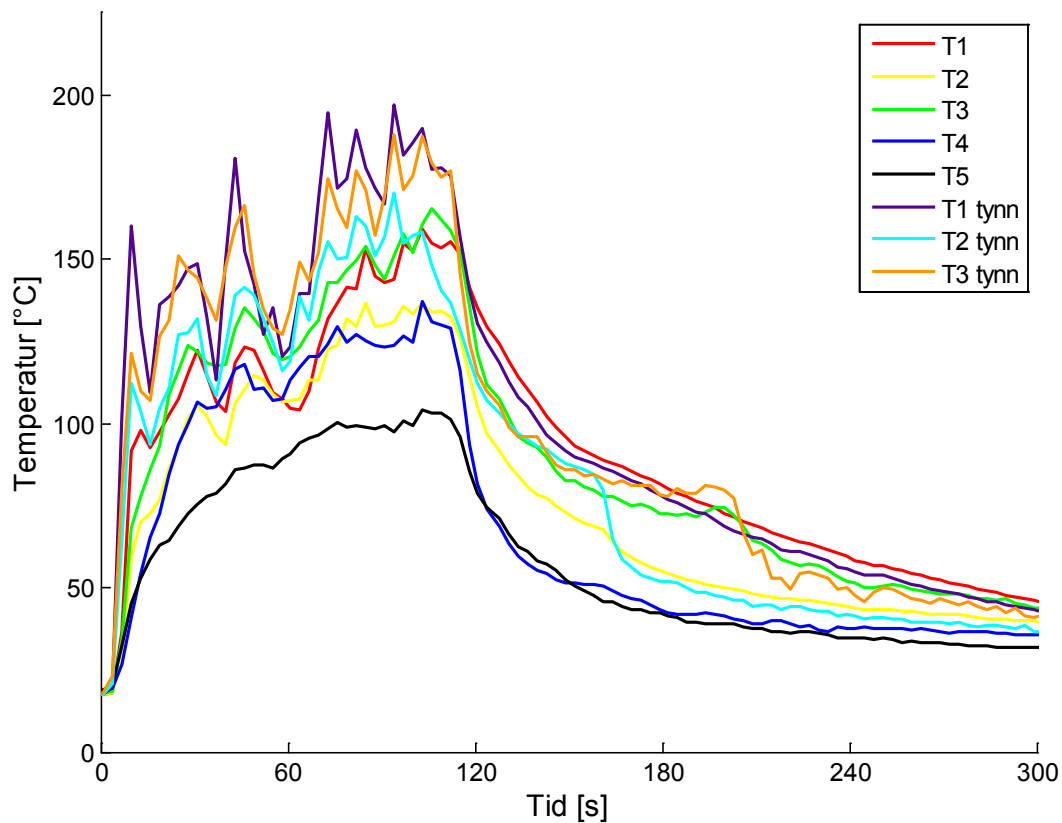




Forsøk 14

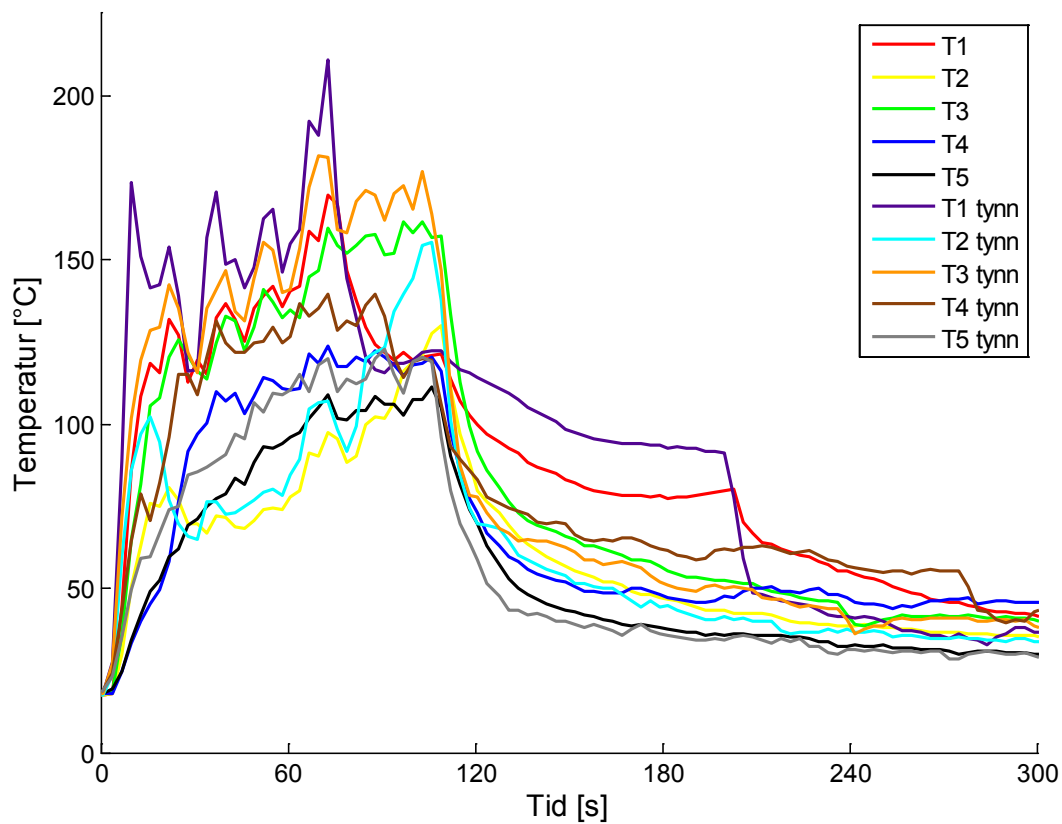


Forsøk 15

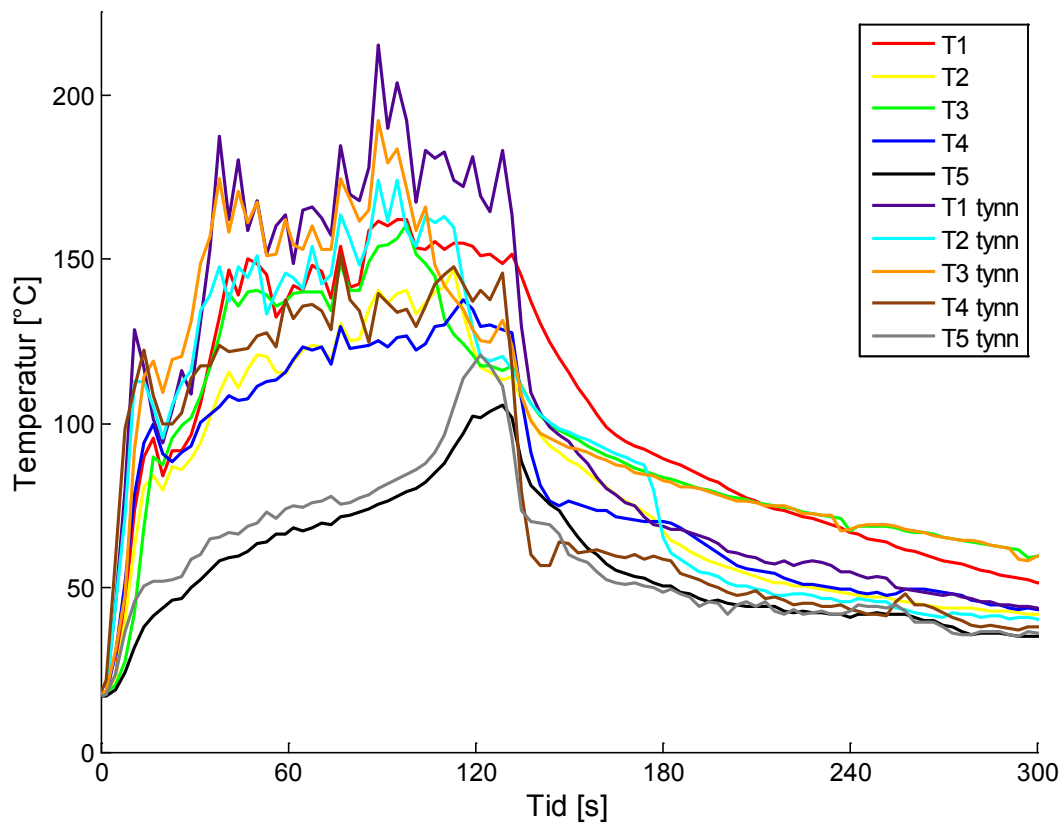




Forsøk 16



Forsøk 17





II. Utregninger

Flammehøyde

Brann 30 kW - inntil vegg (totalt 60 kW):

Diameter:

$$D_{(60kW)} = 2\sqrt{\frac{2 \cdot (0,1m \cdot 0,2m)}{\pi}}$$

$$D_{(60kW)} \approx 0,226m$$

Flammehøyde:

$$L_{(60kW)} = 0,235(2 \cdot 30kW)^{2/5} - 1,02 \cdot 0,226m$$

$$L_{(60kW)} \approx 0,98m$$

Virtuelt origo.

Brann 30 kW – inntil vegg (totalt 60 kW).

$$z_{0(60kW)} = 0,083(60kW)^{2/5} - 1,02 \cdot 0,226m$$

$$z_{0(60kW)} = 0,197m$$

Temperatur i røyksøyle.

Temperaturberegning brann 30 kW - inntil vegg (totalt 60 kW):

Temperatur ved 1,67 m:

$$T_{1(60kW)} = 9,1 \left(\frac{293K}{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \left(1,2 \frac{J}{kgK}\right)^2 \cdot \left(1 \frac{kg}{m^3}\right)^2} \right)^{1/3} \cdot (2 \cdot 30kW)^{2/3} \cdot (1,67m - 0,197m)^{-5/3} + 20^\circ C$$

$$T_{1(60kW)} = 180,5^\circ C$$

Temperatur ved 1,765 m:

$$T_{2(60kW)} = 9,1 \left(\frac{293K}{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \left(1,2 \frac{J}{kgK}\right)^2 \cdot \left(1 \frac{kg}{m^3}\right)^2} \right)^{1/3} \cdot (2 \cdot 30kW)^{2/3} \cdot (1,765m - 0,197m)^{-5/3} + 20^\circ C$$

$$T_{2(60kW)} = 164,6^\circ C$$



Temperatur ved 1,92 m:

$$T_{3(60kW)} = 9,1 \left(\frac{293K}{9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \left(1,2 \frac{J}{kgK}\right)^2 \cdot \left(1 \frac{kg}{m^3}\right)^2} \right)^{1/3} \cdot (2 \cdot 30kW)^{2/3} \cdot (1,92m - 0,197m)^{-5/3} + 20^\circ C$$
$$T_{3(60kW)} = 143,6^\circ C$$

Beregning av lufthastighet i røyksøylen:

Brann 30 kW – inntil vegg (totalt 60 kW).

Lufthastighet ved 1,67 meter:

$$u_{1(60kW)} = \left(\frac{0,714 \cdot (2 \cdot 30kW)}{(1,67m - 0,197m)} \right)^{1/3}$$
$$u_{1(60kW)} = 3,08 \frac{m}{s}$$

Lufthastighet ved 1,765 meter:

$$u_{2(60kW)} = \left(\frac{0,714 \cdot (2 \cdot 30kW)}{(1,765m - 0,197m)} \right)^{1/3}$$
$$u_{2(60kW)} = 3,01 \frac{m}{s}$$

Lufthastighet ved 1,92 meter:

$$u_{3(60kW)} = \left(\frac{0,714 \cdot (2 \cdot 30kW)}{(1,92m - 0,197m)} \right)^{1/3}$$
$$u_{3(60kW)} = 2,92 \frac{m}{s}$$

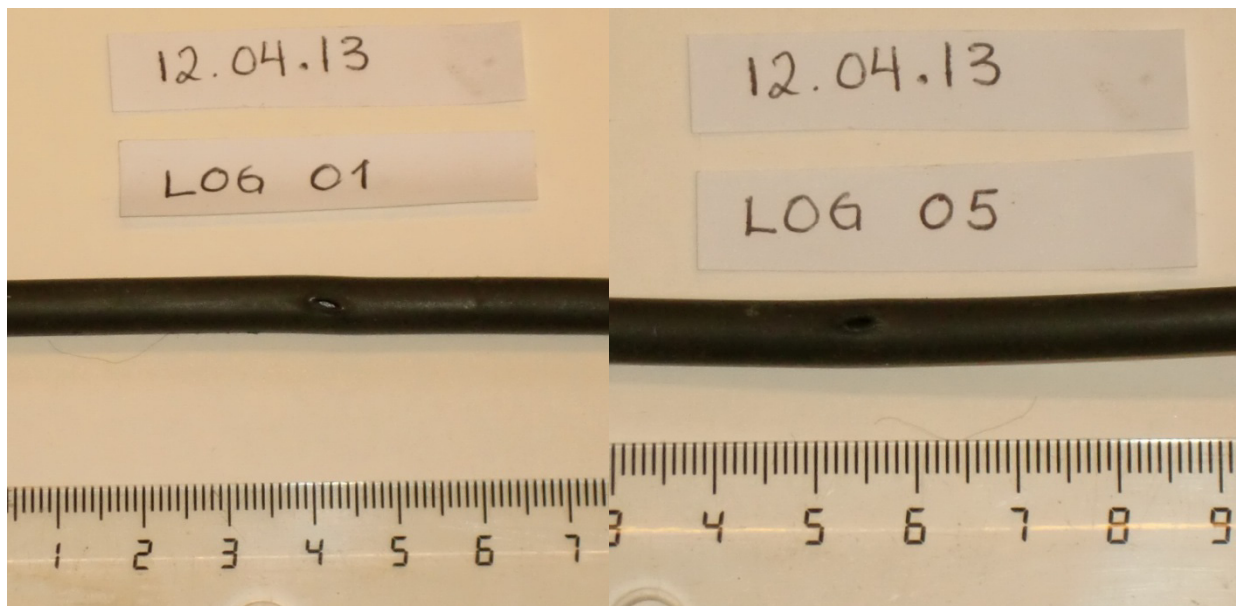


III. Tube etter forsøk

Gammel tube etter brannpåkjenning

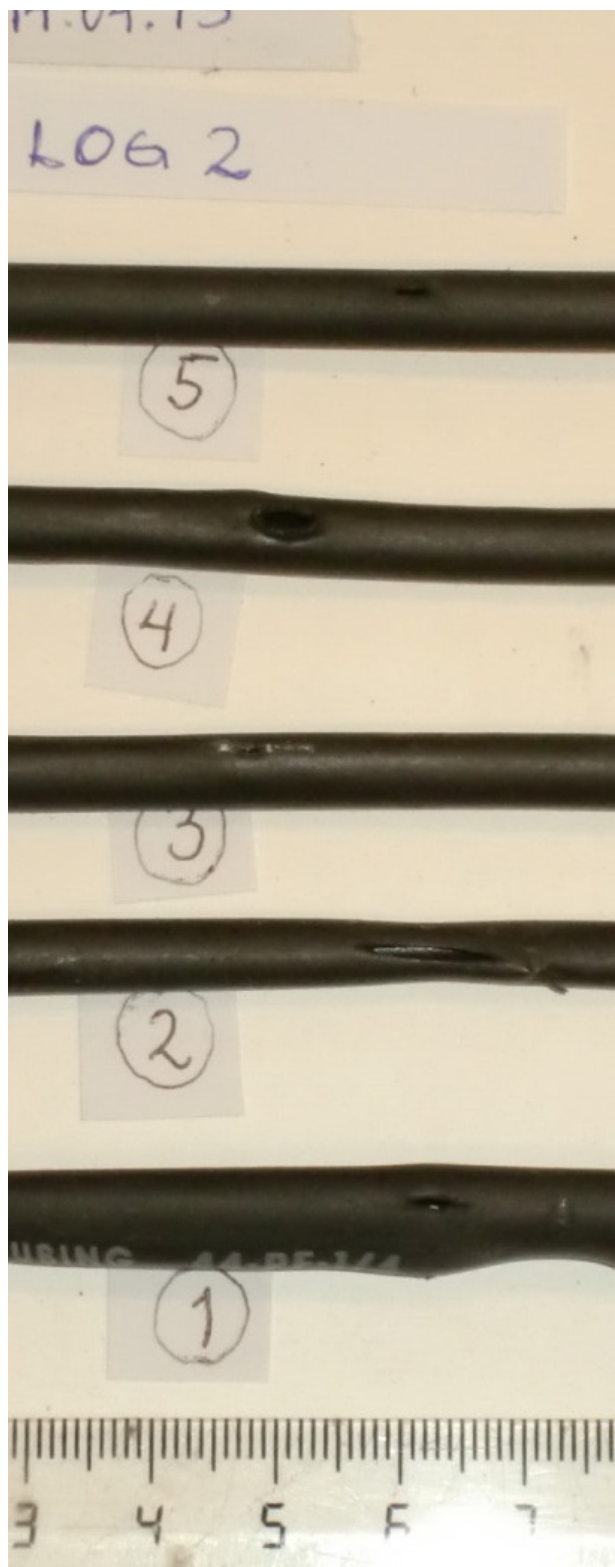
Forsøk 1 – prøvoforsøk gammel slange

Forsøk 2 – prøvoforsøk gammel slange

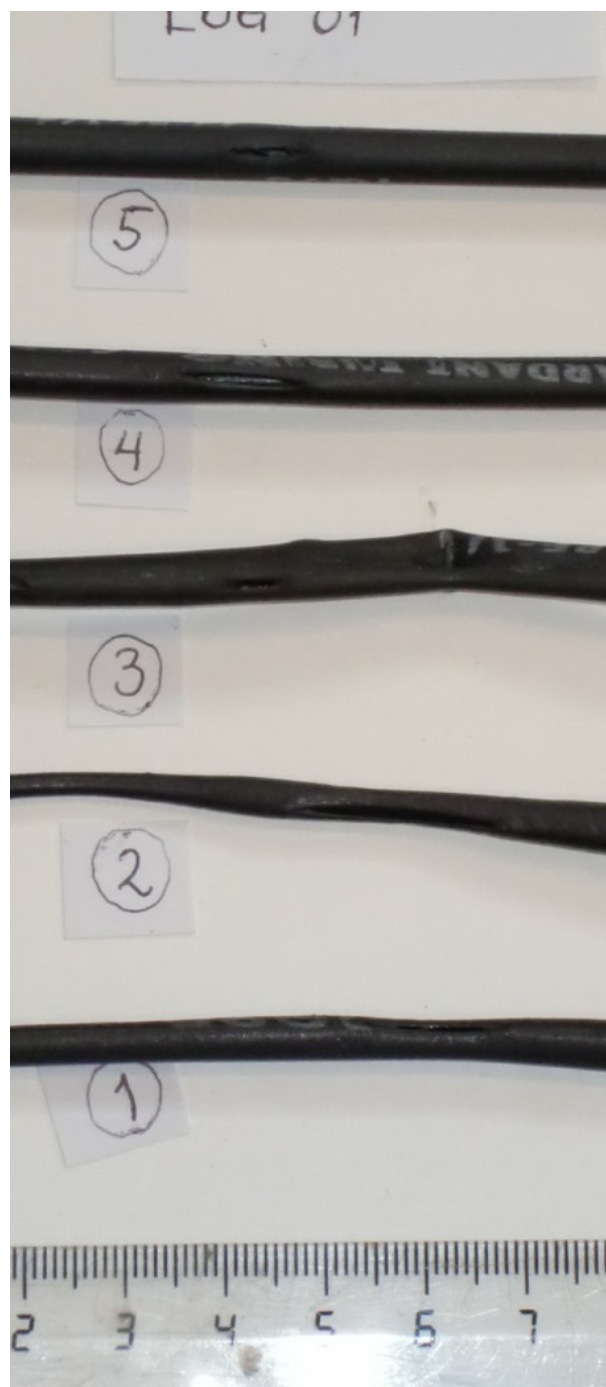




Forsøk 3 – gammel slange:

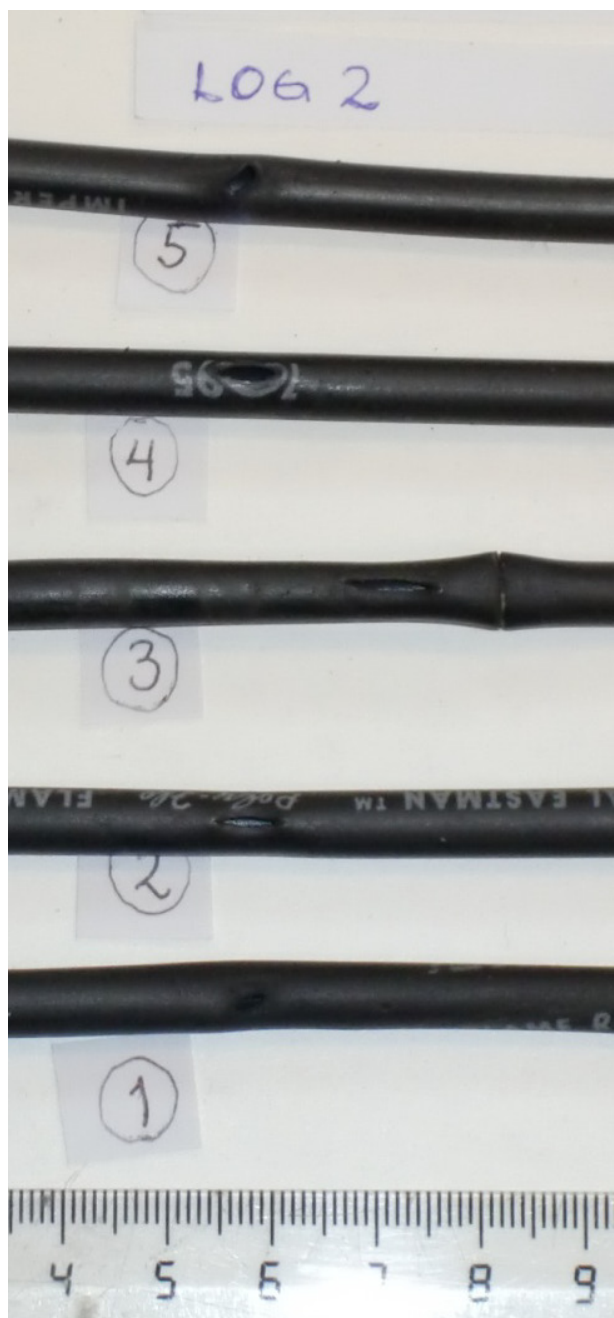


Forsøk 5 – gammel slange:

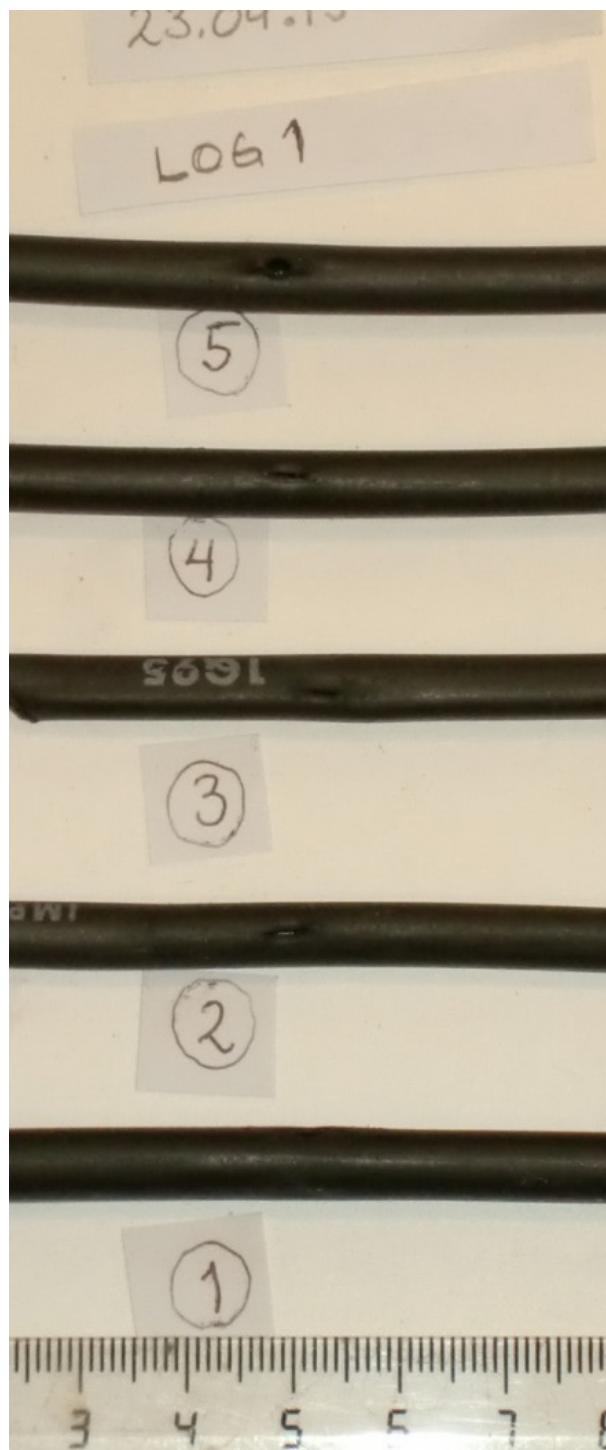




Forsøk 6 – gammel slange:



Forsøk 7 – gammel slange:

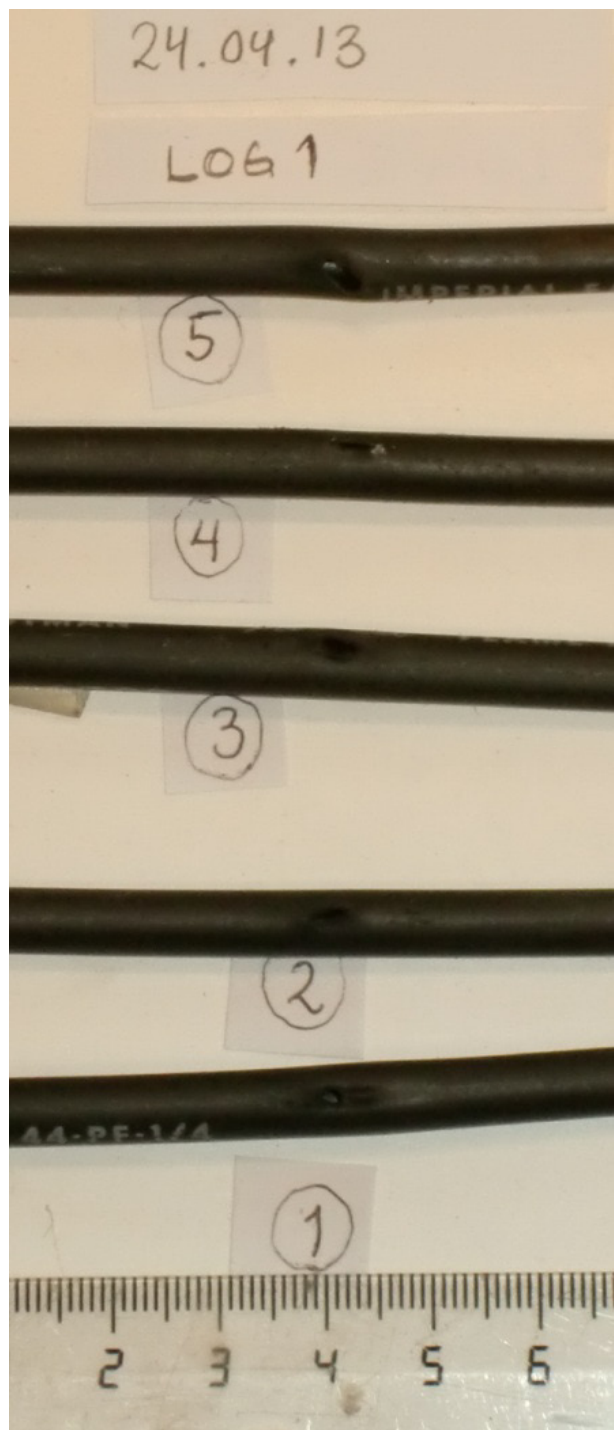




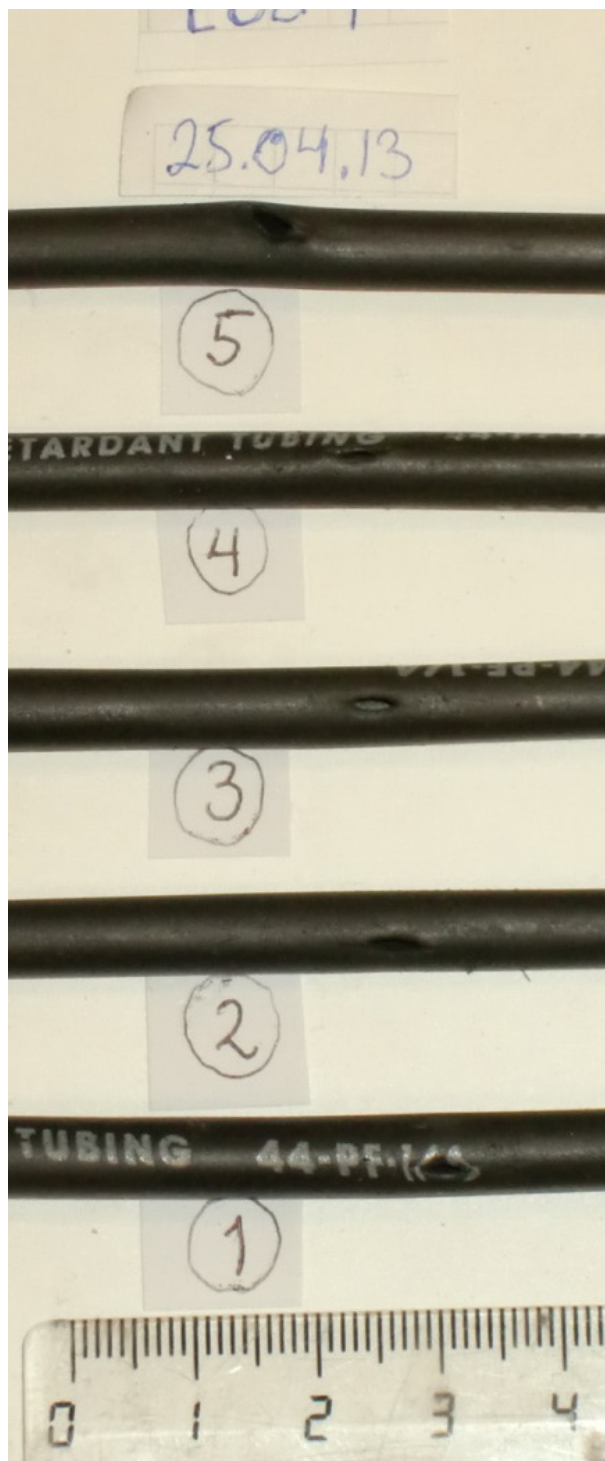
HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND



Forsøk 8 – gammel slange:

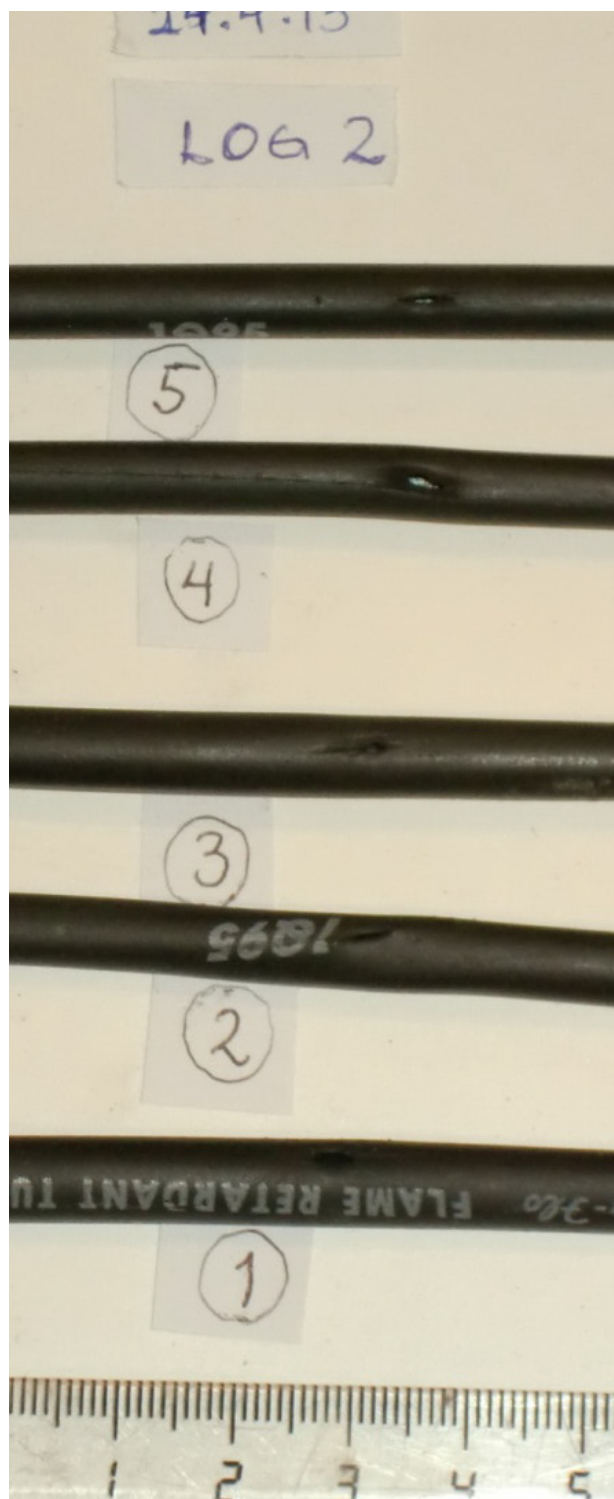


Forsøk 9 – gammel slange:

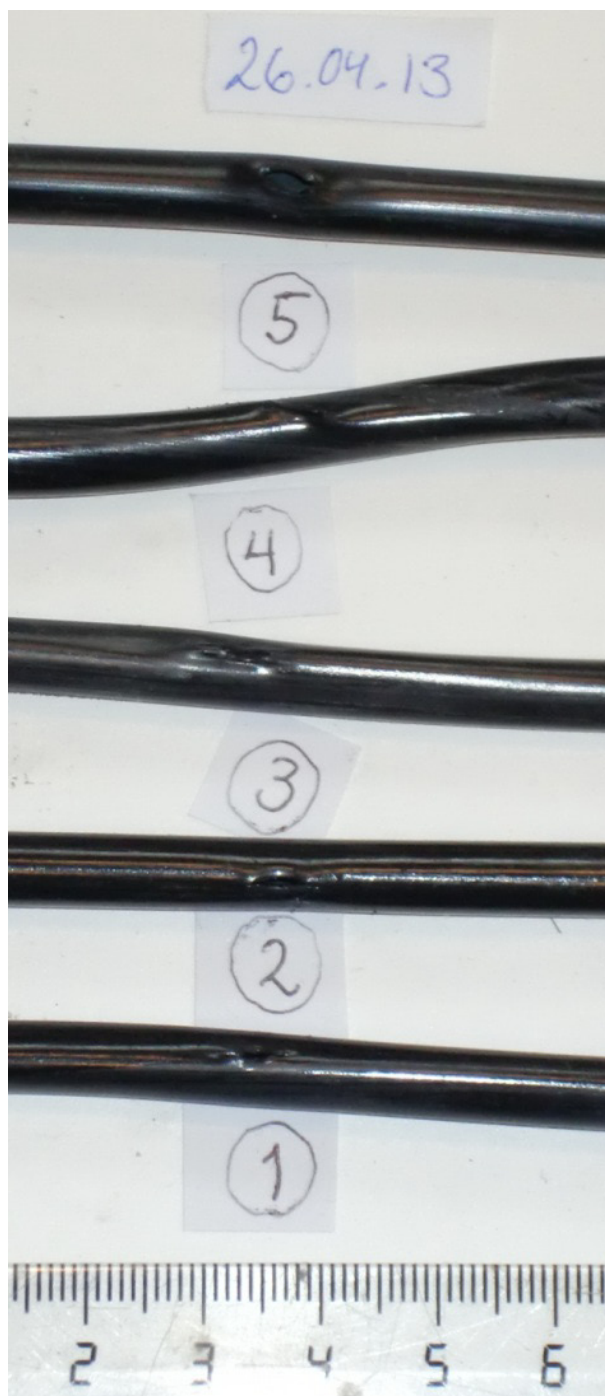




Forsøk 10 – gammel slange:



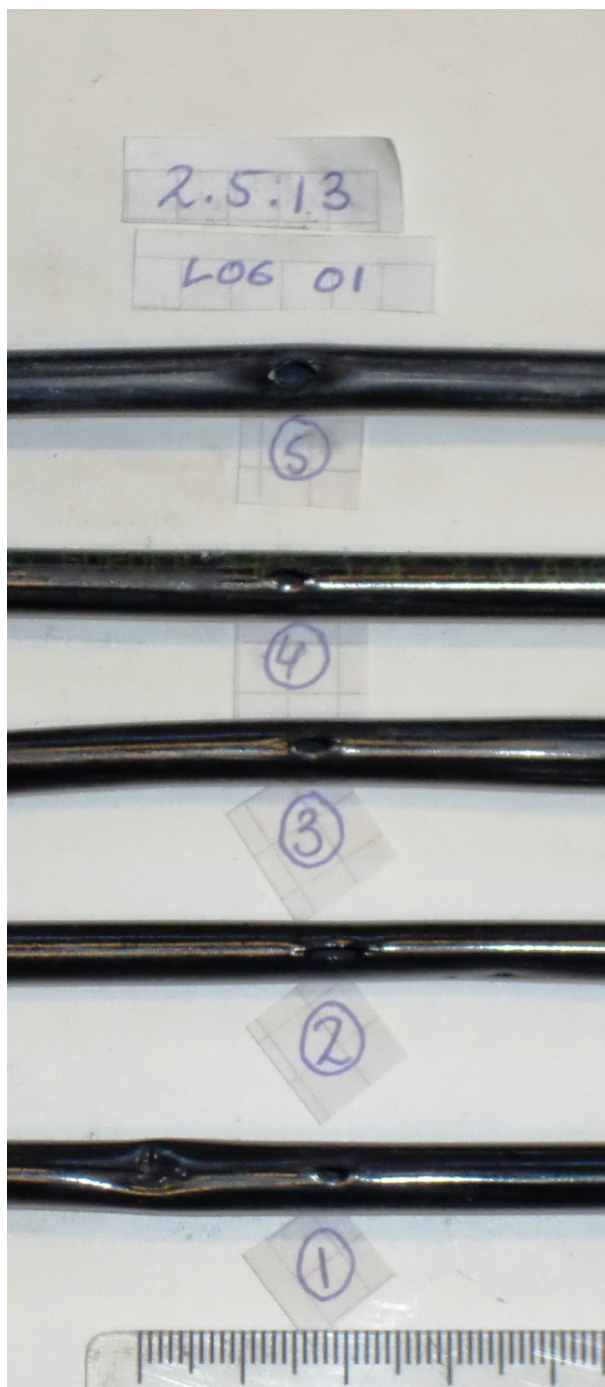
Forsøk 11 – ny slange:



Forsøk 12 – ny slange:

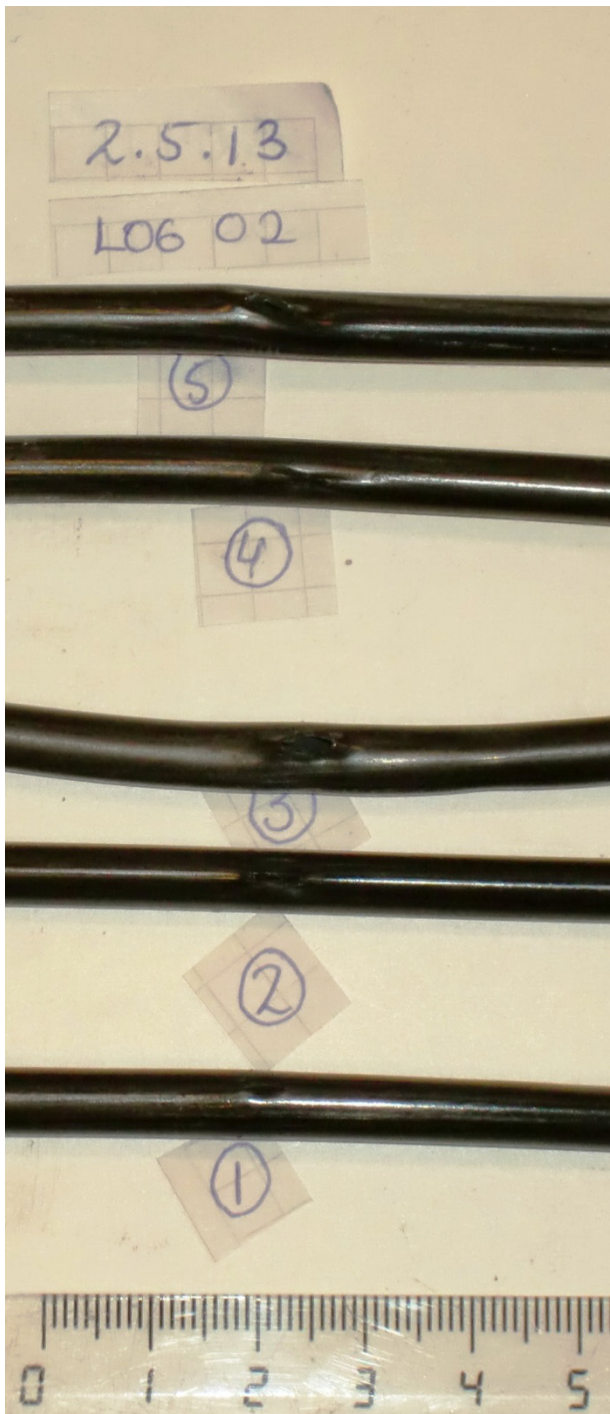


Forsøk 13 – ny slange:

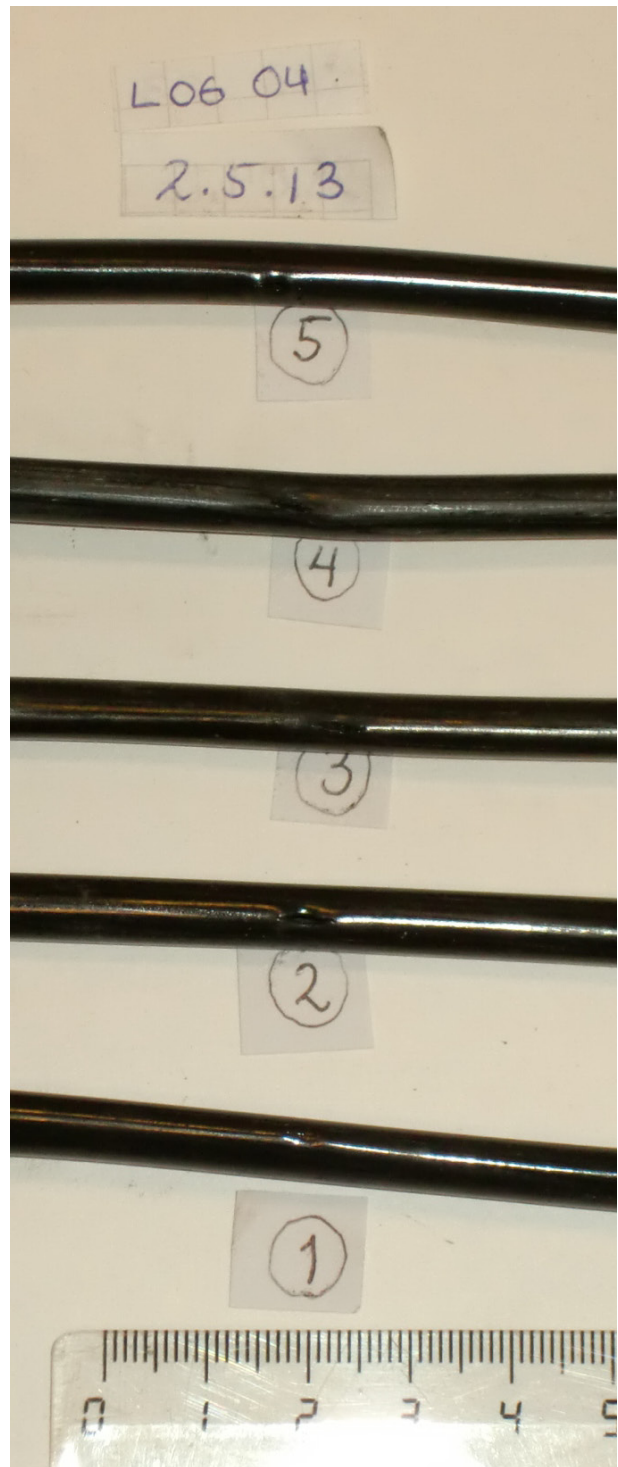




Forsøk 14 – ny slange:

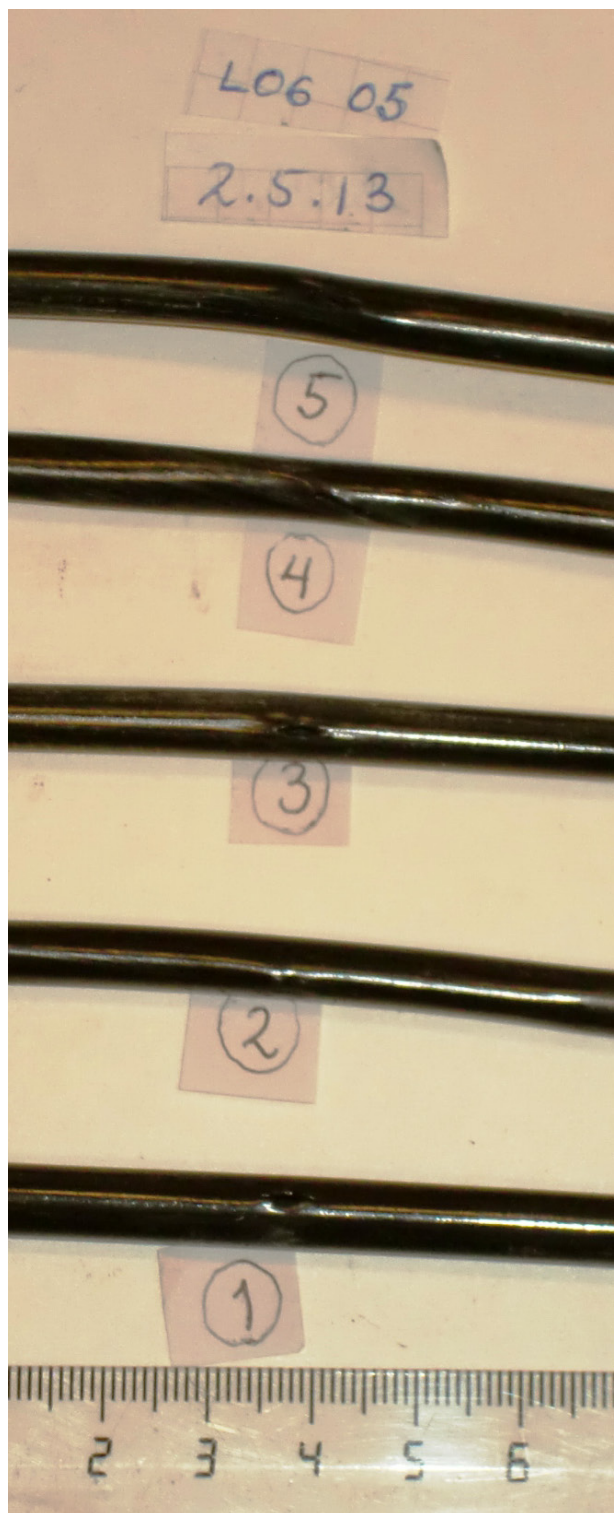


Forsøk 15 – ny slange:

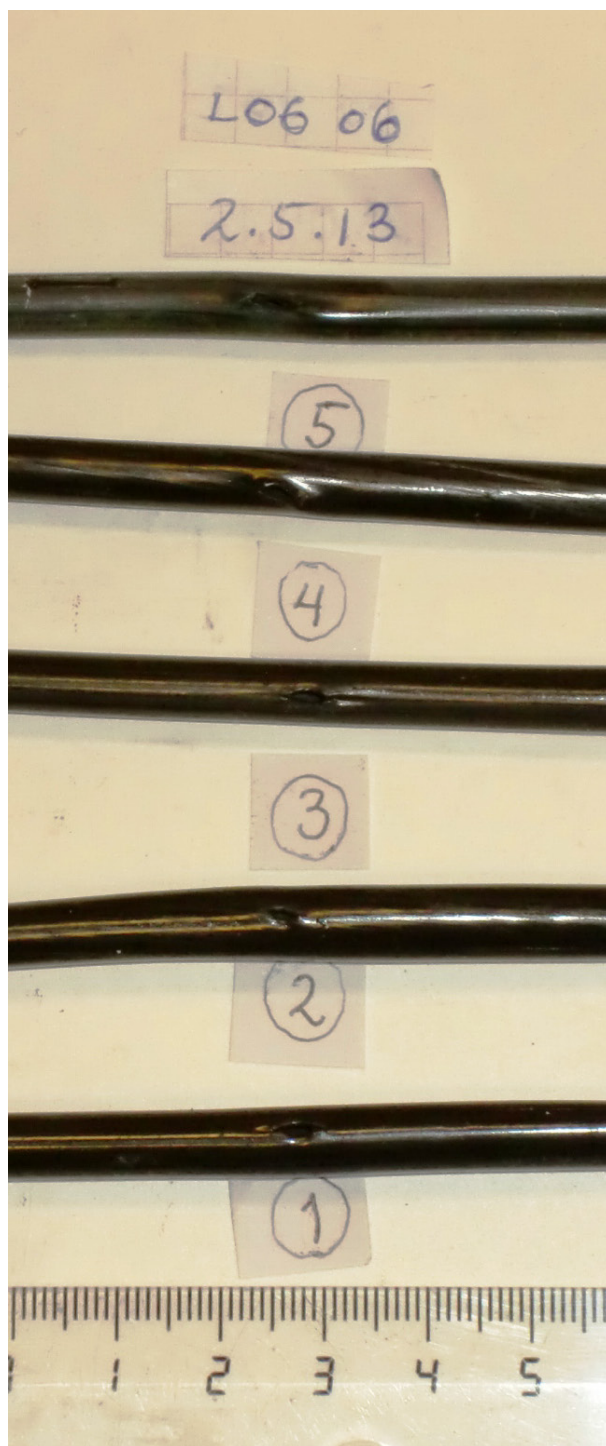




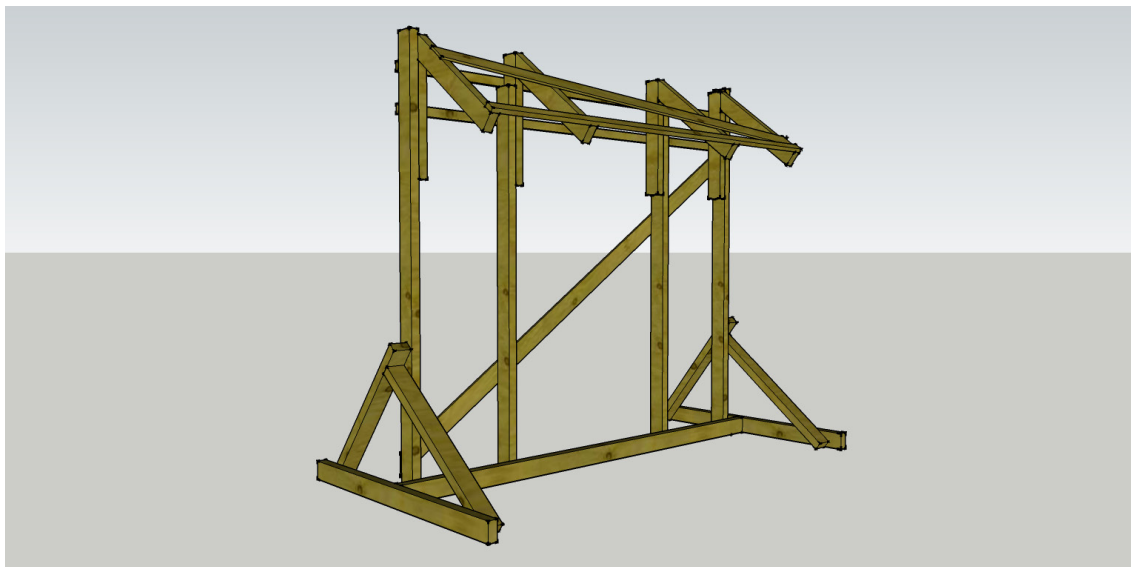
Forsøk 16 – ny slange:



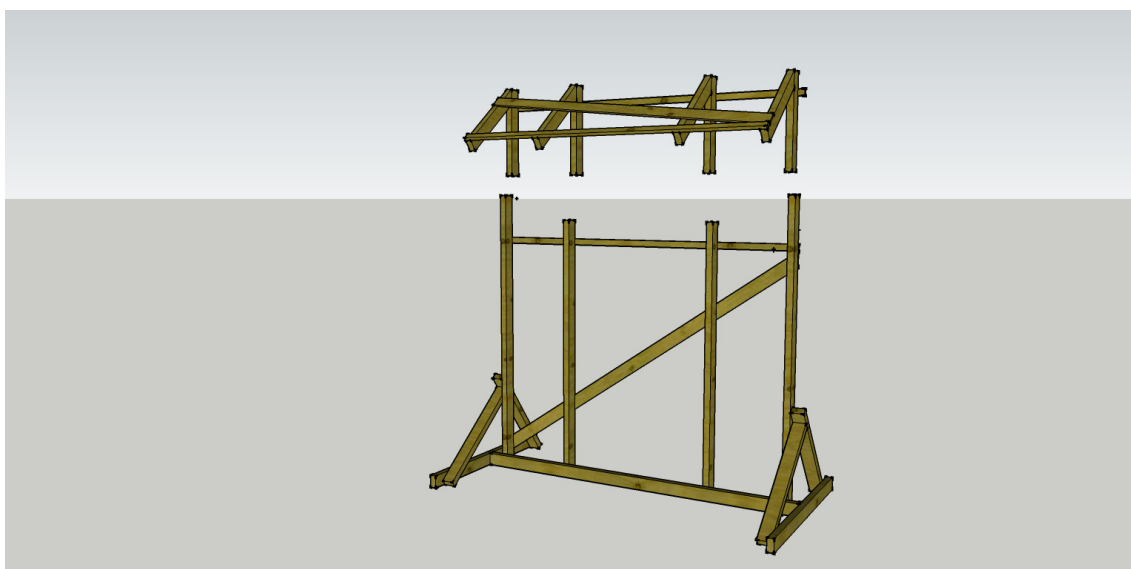
Forsøk 17 – ny slange:



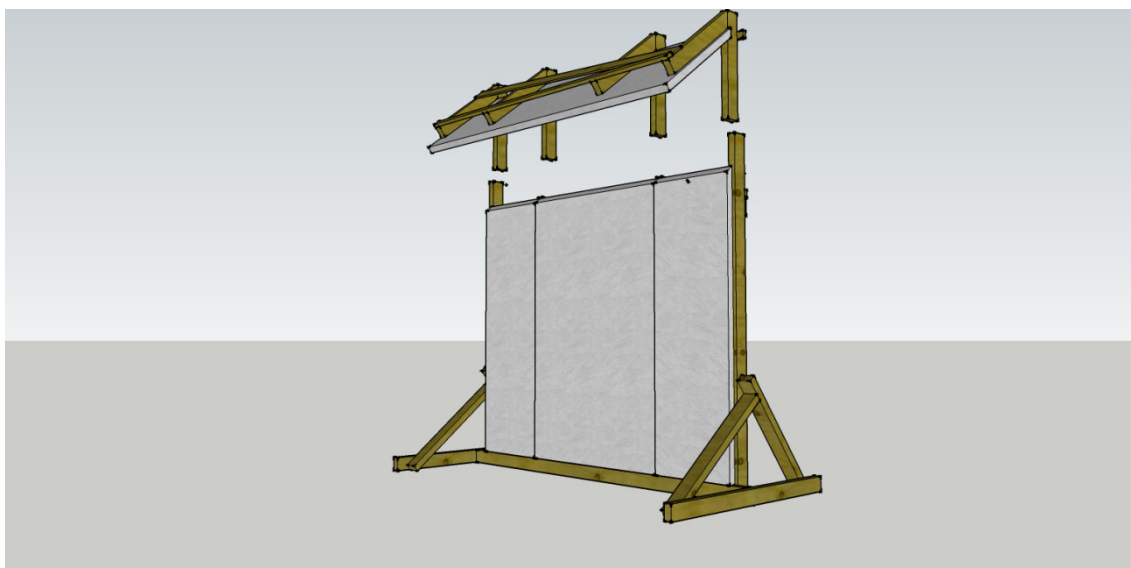
IV. Montering av testvegg



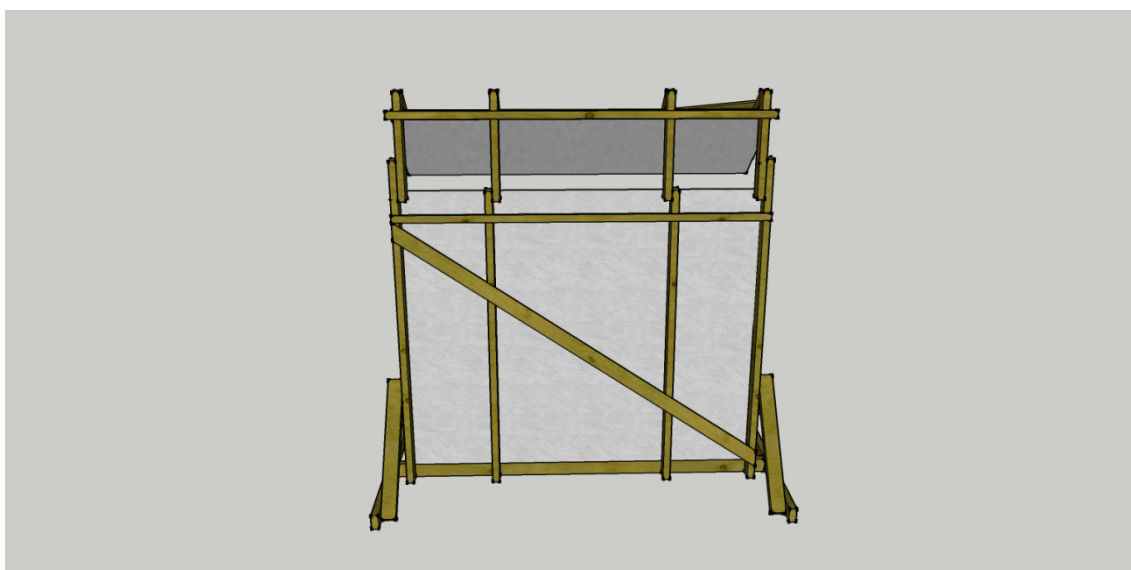
Figur l: Testveggen er bygget opp av to moduler: tak- og veggparti.



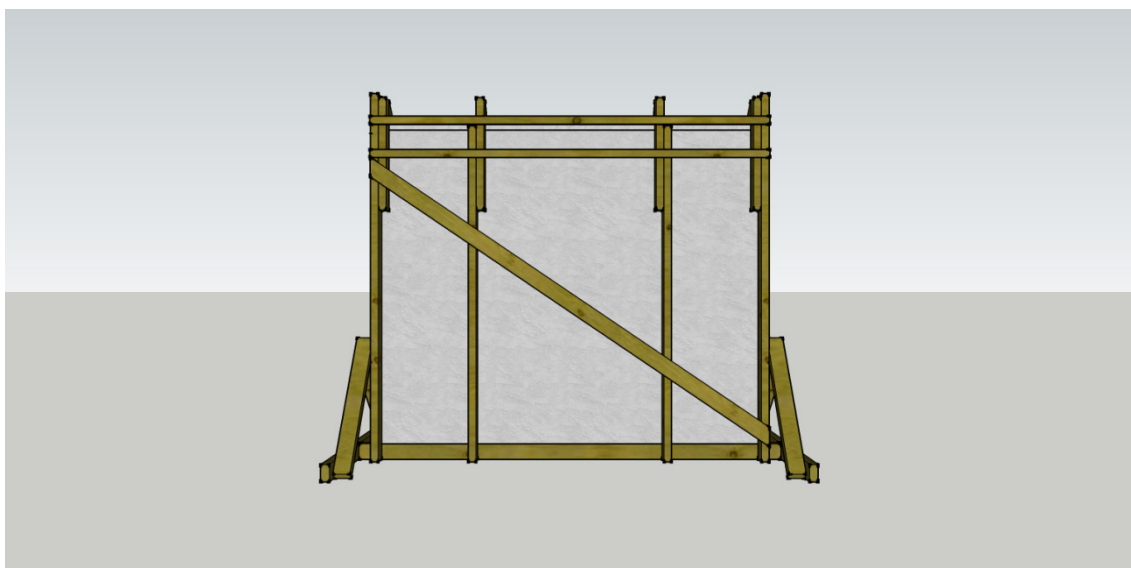
Figur m: For å sette på plater løftes takmodulen av.



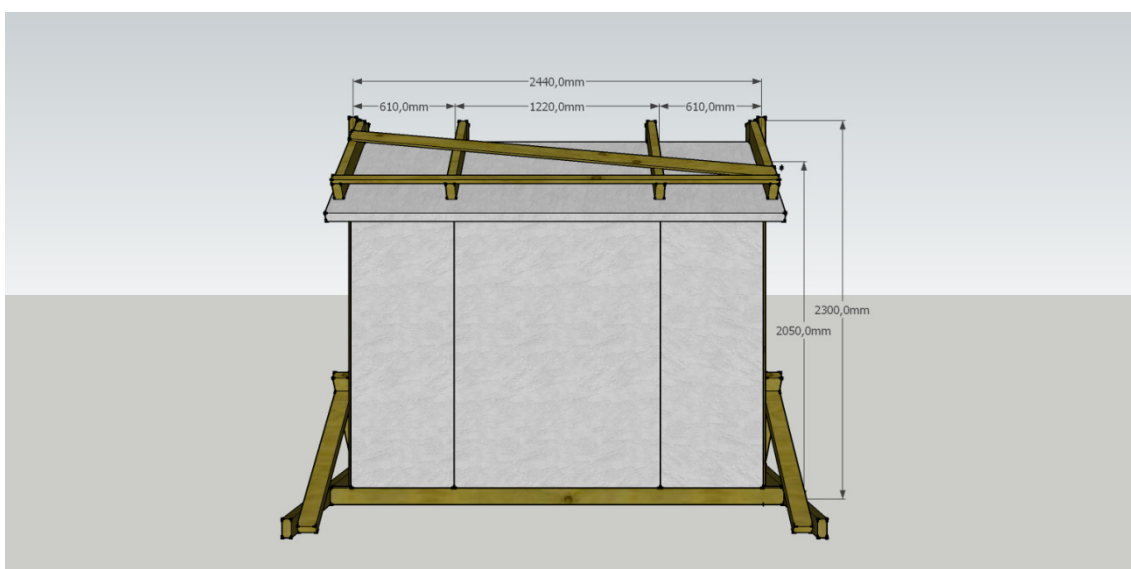
Figur n: Vegg og tak kles med plater hver for seg. Toppen av veggplatene skrånkjæres slik at de passer innunder takvinkelen. Behold en halv centimeter slark på veggplatene. Tak og vegg settes så sammen.



Figur o: For å motvirke momentene fra tak træs taket bak tverrbjelken på baksiden av veggen. Veggens bjelker passer innunder tverrbjelken på baksiden av raftet.



Figur p: Senk taket forsiktig ned, sett på klemmer og lås testoppsettet med et par skruer i siden. Veggplatene kan nå etterstrammes.



Figur q: Det ferdige testoppsettet er klart til bruk. Ved innendørs bruk må bredde på raftet reduseres noe.



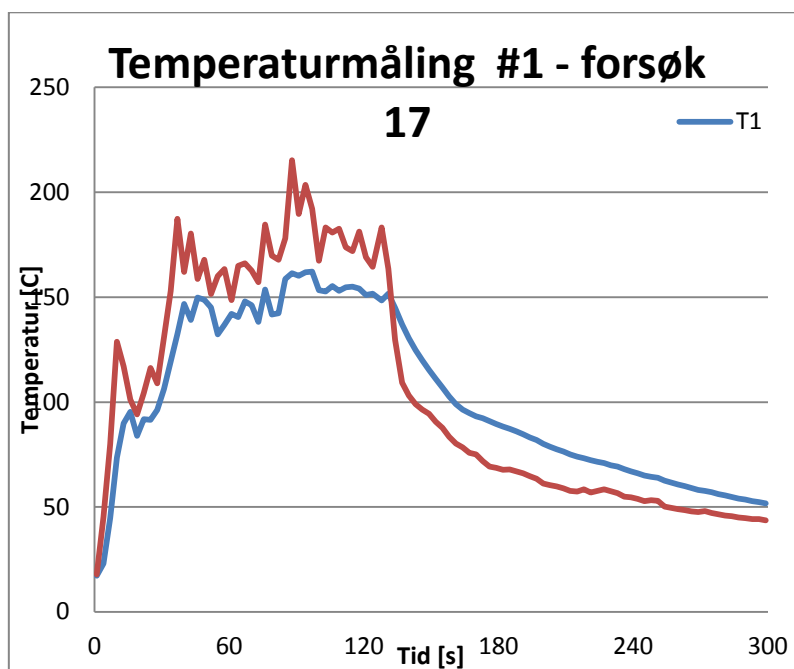
V. Utdrag fra Alan J. Chapman – Fundamental of heat transfer.

Table A.6-SI Properties of Dry Air at Atmospheric Pressure (SI Units)*

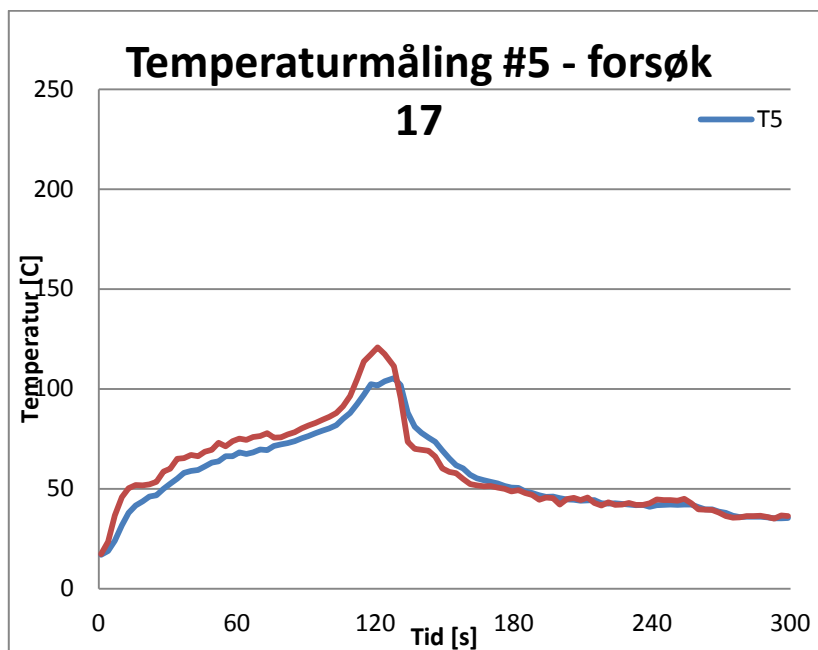
T [°C]	c_p [kJ/(kg K)]	ρ [kg/m ³]	$\mu \times 10^6$ [kg/ms]	$\nu \times 10^6$ [m ² /s]	$k \times 10^3$ [W/m°C]	Pr [-]
0	1,0057	1,2923	17,2	13,31	24,08	0,718
10	1,0058	1,2467	17,69	14,19	24,87	0,716
20	1,0061	1,2042	18,17	15,09	25,64	0,713
30	1,0064	1,1644	18,65	16,01	26,38	0,712
40	1,0068	1,1273	19,11	16,96	27,1	0,71
50	1,0074	1,0924	19,57	17,92	27,81	0,709
60	1,008	1,0596	20,03	18,9	28,52	0,708
70	1,0087	1,0287	20,47	19,9	29,22	0,707
80	1,0095	0,9996	20,92	20,92	29,91	0,706
90	1,0103	0,9721	21,35	21,96	30,59	0,705
100	1,0113	0,946	21,78	23,02	31,27	0,704
110	1,0123	0,9213	22,2	24,1	31,94	0,704
120	1,0134	0,8979	22,62	25,19	32,61	0,703
130	1,0146	0,8756	23,03	26,31	33,28	0,702
140	1,0159	0,8544	23,44	27,44	33,94	0,702
150	1,0172	0,8342	23,84	28,58	34,59	0,701
160	1,0186	0,815	24,24	29,75	35,25	0,701
170	1,0201	0,7966	24,63	30,93	35,89	0,7
180	1,0217	0,779	25,03	32,13	36,54	0,7
190	1,0233	0,7622	25,41	33,34	37,18	0,699
200	1,025	0,7461	25,79	34,57	37,81	0,699
210	1,0268	0,7306	26,17	35,82	38,45	0,699
220	1,0286	0,7158	26,54	37,08	39,08	0,699
230	1,0305	0,7016	26,91	38,36	39,71	0,698
240	1,0324	0,6879	27,27	39,65	40,33	0,698
250	1,0344	0,6748	27,64	40,96	40,95	0,698
260	1,0365	0,6621	27,99	42,28	41,57	0,698
270	1,0386	0,6499	28,35	43,62	42,18	0,698
280	1,0407	0,6382	28,7	44,97	42,79	0,698
290	1,0429	0,6268	29,05	46,34	43,4	0,698
300	1,0452	0,6159	29,39	47,72	44,01	0,698
310	1,0475	0,6053	29,73	49,12	44,61	0,698
320	1,0499	0,5951	30,07	50,53	45,21	0,698
330	1,0523	0,5853	30,41	51,95	45,84	0,698
340	1,0544	0,5757	30,74	53,39	46,38	0,699

VI. Forskjell på responstid for tykke og tynne termoelementer.

Det er benyttet K-elementer med diameter 1,0 mm for T1 og 0,5 mm for T1 tynn. Figur r og s viser utslag i temperaturmålingene ved de respektive termoelementene, der Figur r viser plassering nederst langs vegg og figur s plassering ytterst på raft.



Figur r: Temperaturmåling fra tynt og tykt termoelement ved plassering nederst langs vegg.



Figur s: Temperaturmålinger fra tykt og tynt termoelement ved plassering ytterst på raft.



Forsøk utført av Bjarne Husted viser tidskonstant for termoelementene benyttet i testing av deteksjonsslangene. Testdata er gjengitt under og gjelder for forsøk ved luftstrøm på 100 °C. Responstiden vil avhenge av medium og strømningshastighet.

T1 = 0.5 mm - 3.5 - 4.0 s 95% konfidensinterval for middelværdi
T2 = 1.0 mm - 7.9 - 8.5 s 95% konfidensinterval for middelværdi

14 maj 2013, Varmluftovn Simens (Temperatur i ovn, - 100±2 °C)		
Forsøg	T1	T2
<i>1</i>	<i>3,21</i>	<i>8,67</i>
<i>2</i>	<i>3,81</i>	<i>8,02</i>
<i>3</i>	<i>3,84</i>	<i>7,24</i>
<i>4</i>	<i>3,30</i>	<i>8,39</i>
<i>5</i>	<i>3,89</i>	<i>8,40</i>
<i>6</i>	<i>3,42</i>	<i>8,76</i>
<i>7</i>	<i>3,31</i>	<i>8,93</i>
<i>8</i>	<i>4,32</i>	<i>8,29</i>
<i>9</i>	<i>4,03</i>	<i>7,52</i>
<i>10</i>	<i>3,88</i>	<i>7,77</i>
<i>11</i>	<i>4,50</i>	<i>7,91</i>
<i>12</i>	<i>3,55</i>	
Antal	12	11
Gjemmensnit	3,76	8,17
Standafvigelse	0,41	0,53
Konfidens-interval	0,23	0,31
95 % konfidens-interval for responstiden [s]	3,5-4,0	7,9-8,5



VII. Sensitivitetsanalyse

Ved å endre lufthastigheten med +/- 20 % ble ny verdi for varmeovergangstall funnet. Varmeovergangstallet baserte seg på et snitt av 8 varmeovergangstall fra 20 til 90 grader.

Sensitivitetsanalysen ble utført for plassering 2, som lå langs vegg ved høyden 1,765 meter over brannkildens overflate. Tabellen under viser endring i varmeovergangstall. Øvre og nedre gjennomsnittsverdi (for +/- 20 %) er benyttet for å beregne ny utløsningstemperatur for slangene.

Sensitivitet	faktor	u2	h2 snitt
-52%	0,48	1,45	44,4
-20 %	0,8	2,408	56,2
-10 %	0,9	2,709	59,4
0 %	1	3,01	62,4
10 %	1,1	3,311	65,2
20 %	1,2	3,612	67,9

Utløsningstemperatur ved 55 % reduksjon av lufthastigheten fra 3,01 m/s til 1,45 m/s:

lufthastighet -55 % (målt)- beregnet utløsningstemperatur [°C]										
	T1	tynn	T2	tynn	T3	tynn	T4	tynn	T5	tynn
Forsøk 3					81,8		78,9		60,2	
Forsøk 5	59,8		76,4		103,9		68,9		68,5	
Forsøk 6	75,7		80,5		82,9		86,5		74,0	
Forsøk 7	58,9				78,7		52,2		70,4	
Forsøk 8	83,4	99,9		107,3	76,8	83,4	59,9		81,0	
Forsøk 9	59,0	77,4	75,5	67,0	57,9	79,3	67,6		73,2	
Forsøk 10	59,0	77,1	91,6	97,6	84,9	97,8	68,5		64,0	
Forsøk 11	56,1	63,2	84,7	89,6	63,7	82,1	82,9		87,5	
Forsøk 12	63,4	78,1	78,8	67,2	80,7	102,5	73,3		86,9	
Forsøk 13	76,7	92,2	76,4	95,3	81,9	75,8	59,0		69,0	
Forsøk 14	57,0	72,8	100,0	116,9	87,5	82,3	75,4		75,3	
Forsøk 15	0,0	0,0	76,1	93,3	86,1	101,1	67,6	81,9	80,5	92,8
Forsøk 16	57,9	69,3	62,8	69,6	81,3	91,4	65,5	79,6	80,3	91,0
Forsøk 17	63,1	77,7	90,6	112,3	74,6	93,9	70,3	82,0	64,0	69,7
Gjennomsnitt	64,2	78,6	81,2	91,6	80,2	88,9	69,8	81,2	73,9	64,2

**Utløsningstemperatur ved 20% reduksjon av lufthastigheten:**

lufthastighet -20 % - beregnet utløsningstemperatur. [oC]										
	T1	tynn	T2	tynn	T3	tynn	T4	tynn	T5	tynn
Forsøk 3	0,0	0,0	0,0	0,0	88,8	0,0	86,6	0,0	65,3	0,0
Forsøk 5	67,8	0,0	85,0	0,0	114,5	0,0	77,2	0,0	73,1	0,0
Forsøk 6	76,7	0,0	81,1	0,0	84,6	0,0	87,7	0,0	74,8	0,0
Forsøk 7	66,4	0,0	0,0	0,0	85,6	0,0	58,2	0,0	73,6	0,0
Forsøk 8	87,8	105,3	0,0	111,9	82,4	88,3	64,3	0,0	83,8	0,0
Forsøk 9	66,7	88,0	81,4	72,1	63,3	86,6	75,3	0,0	76,9	0,0
Forsøk 10	66,2	86,9	99,6	105,9	93,6	107,0	74,7	0,0	66,9	0,0
Forsøk 11	58,8	66,2	89,8	95,3	66,0	85,2	88,0	0,0	89,7	0,0
Forsøk 12	68,0	83,6	84,3	72,2	87,4	111,0	78,4	0,0	88,3	0,0
Forsøk 13	82,3	99,4	82,5	103,3	88,0	81,1	64,0	0,0	71,5	0,0
Forsøk 14	64,2	82,1	109,3	126,9	95,7	89,1	82,3	0,0	81,0	0,0
Forsøk 15	0,0	0,0	83,9	102,7	95,4	111,5	75,8	91,6	86,2	98,9
Forsøk 16	65,9	78,9	68,2	75,6	91,1	102,2	73,4	89,0	87,0	98,4
Forsøk 17	71,6	88,5	99,1	122,7	84,4	106,3	78,2	91,2	68,3	74,1
Snitt -20 %	70,2	86,5	87,7	98,9	87,2	96,8	76,0	90,6	77,6	90,5

Utløsningstemperatur ved 20 % økning av lufthastigheten:

lufthastighet +20 % - beregnet utløsningstemperatur [°C]										
	T1	tynn	T2	tynn	T3	tynn	T4	tynn	T5	tynn
Forsøk 3	0,0	0,0	0,0	0,0	93,7	0,0	92,4	0,0	69,3	0,0
Forsøk 5	74,8	0,0	91,9	0,0	122,4	0,0	84,0	0,0	76,3	0,0
Forsøk 6	77,3	0,0	81,4	0,0	85,9	0,0	88,3	0,0	75,3	0,0
Forsøk 7	72,9	0,0	0,0	0,0	90,5	0,0	63,3	0,0	75,5	0,0
Forsøk 8	90,4	108,7	0,0	114,9	85,9	91,0	67,4	0,0	85,5	0,0
Forsøk 9	73,5	97,0	85,4	75,7	67,4	91,8	81,4	0,0	79,2	0,0
Forsøk 10	72,4	95,3	105,3	111,6	100,4	113,7	79,5	0,0	68,7	0,0
Forsøk 11	60,6	68,3	93,3	99,4	67,4	87,2	91,5	0,0	91,0	0,0
Forsøk 12	71,2	87,4	88,2	75,7	92,1	116,8	81,8	0,0	89,0	0,0
Forsøk 13	86,3	104,5	87,0	109,2	92,1	84,8	67,7	0,0	73,0	0,0
Forsøk 14	70,2	89,7	115,8	133,8	101,5	93,9	87,3	0,0	84,9	0,0
Forsøk 15	0,0	0,0	89,8	109,6	102,4	119,1	82,4	99,2	90,0	102,7
Forsøk 16	72,9	87,2	72,1	79,9	99,0	110,7	79,9	96,4	91,7	103,5
Forsøk 17	78,9	97,8	105,2	130,0	92,5	116,5	84,5	98,4	71,3	77,1
Gjennomsnitt	75,1	92,9	92,3	104,0	92,4	102,5	80,8	98,0	80,0	94,4

VIII. Produktblad, Scamotek brannmursplater.

SKAMOTEC 225

for building fireplace surrounds and mold remediation



Grade	SKAMOTEC 225	
Maximum service temperature (EN 14306:2009)		
	°C	1000
	°F	1832
Bulk density, dry (EN 1094-4)		
	kg/m ³	225
	lbs/cu.ft.	14
Compressive strength (EN 1094-5: 1995)		
@ room temperature	MPa	2.8
	lbs/sq.in.	406
Modulus of rupture (EN 993-6: 1995)		
	MPa	1.4
	lbs/sq.in.	203
Specific heat		
	kJ/(kg×K)	0.84
	BTU/(lb×°F)	0.20
Coefficient of reversible thermal expansion (BS 1902: section 5.3: 1990)		
@ 20°C-750°C (68°F-1382°F)	K ⁻¹	5.5x10 ⁻⁶
	°F ⁻¹	3.1x10 ⁻⁶
Coefficient of hygric expansion (DTI report)		
@ 23°C 50%RH to 23°C 10%RH	mm/(m%RH)	4.0x10 ⁻³
Coefficient of hygric contraction (DTI report)		
@ 23°C 50%RH to 23°C 100%RH	mm/(m%RH)	0
Sound reduction index		
Thickness 19 mm	dB	24
38 mm		27
40 mm		29
Thermal conductivity (ASTM C-182)		
mean temp. @ 20°C	W/(m×K)	0.06
@ 200°C		0.08
@ 400°C		0.10
@ 600°C		0.12
@ 68°F	BTU/(sq.ft×h×°F/in)	0.42
@ 392°F		0.55
@ 752°F		0.69
@ 1112°F		0.83
Chemical analysis, typical	%	
Silica	SiO ₂	45
Calcium oxide	CaO	45
Loss on ignition 1025°C (1877°F)	LOI	8
Water content	%	2.5
Non-combustibility tests (EN 13501-1:2007 + A1:2009)		
Classification		Class A1 non-combustible
HS Tariff number		
(Harmonized Commodity Description and Coding System)		6806.90.00
Colour		GREY

Skamol A/S
 Østergade 58-60
 DK-7900 Nykøbing Mors
 Denmark
 Tel: +45 9772 1533
 Fax: +45 9772 4975
 insulation@skamol.dk

www.skamol.com

Data are average results of tests conducted under standard procedures and are subject to variation. Data contained in this data sheet are supplied in good faith as a technical service and are subject to change without notice. Misprint and errors excepted.

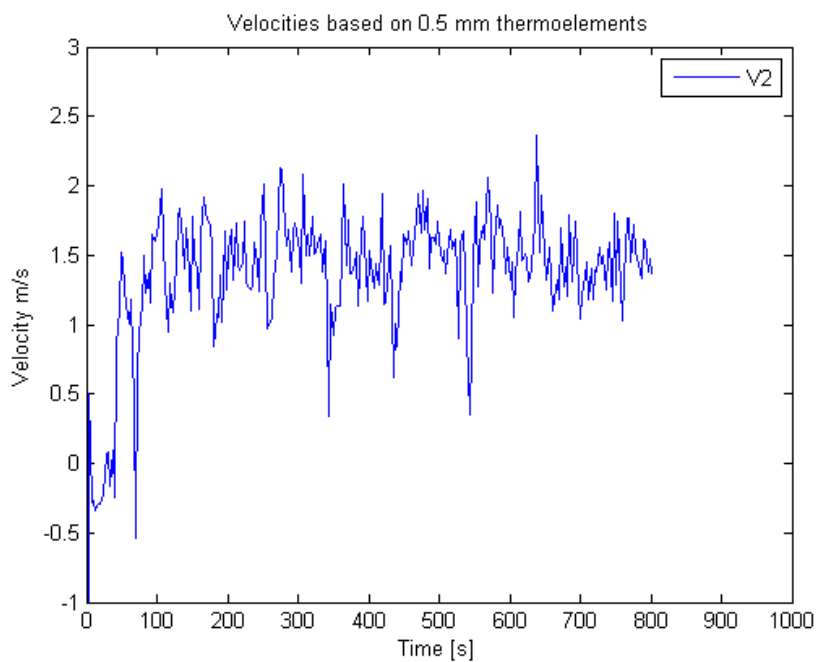
October 2012



IX. Måling av lufthastighet ved plassering 2

Nedenfor er resultater fra målinger med bi-directional probe montert på vegg. Blå linje viser målt lufthastighet ved plassering 2. Her var gjennomsnittlig målt lufthastighet på 1,45 m/s.

Tynt termoelement (k-element, 0,5 mm).



Tykt termoelement (k-element, 1 mm):

