



Høgskulen
på Vestlandet

Gjennombrenningstid til elementer i brannskall



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, brannteknikk

Brathole, Arne
Haagenrud, Anniken
Nordvoll, Håkon

Kand.nr. 19
Kand.nr. 7
Kand.nr. 1



BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Anniken Haagenrud
Arne Brathole
Håkon Nordvoll

Linje & studieretning: Brann, sikkerhetsingeniør

Oppgavens tittel: *Gjennombrenningstid til elementer i brannskall*

Oppgavetekst:

Bygningers brannskall består dels av elementer som kan klassifiseres for brannmotstand og reaksjon på brannegenskaper i henhold til etablerte standarder, og dels av elementer som er uklassifisert eventuelt oversett som brannspredningsvei i praksis. Etterforskning av utvendige branner viser at uklassifiserte detaljer oftest sprer brann, at det ikke er brukt klassifiserte elementer der slike finnes samt at gnistregn, strøbranner og flammer er dominerende påkjenninger framfor varmestråling.

Det er behov for ytterligere testdokumentasjon av elementer eller komplette brannskall. Dette bachelorprosjektet skal teste og drøfte detaljer ved brannskallelementer og nye utførelser.

Hensikten med prosjektet er å få innsikt i forskjellige brannskallelementer, og å gi en indikasjon på hvordan ulike brannskallelementer, og utførelsen av disse, kan påvirke brannsikkerhet.

Arbeidet skal også kunne bidra til komiteen som utvikler en ny norsk standard for brannskallsikring.

Endelig oppgave gitt: Fredag 3. mars 2017

Innleveringsfrist: Onsdag 10. mai 2017 kl. 12.00

Intern veileder: Kristian Grimstvedt

Ekstern veileder: Geir Jensen, COWI

Adresse ekstern veileder: Otto Nielsens veg 12, 7052 Trondheim

**Godkjent av
studieansvarlig:**

Dato:

*Forum S. Nysted
27/4-17*



Høgskolen på Vestlandet
Studie for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr.: 52 70 26 00
Faks nr.: 52 70 26 01

Oppgavens tittel		Rapportnummer
Gjennombrenningstid til elementer i brannskall		(Fylles ikke ut)
Utført av		
Brathole, Arne Haagenrud, Anniken Nordvoll, Håkon		
Linje	Studieretning	
Sikkerhet, brannteknikk	Ingeniør	

Ekstrakt

Dette bachelorprosjektet ønsker å gi innsikt i ulike brannskallelementer og en indikasjon på hvordan utførelsen av disse kan påvirke brannsikkerhet.

I motsetning til tidligere arbeid er det i denne oppgaven valgt å se på brannskallets motstand mot gjennombrenning ved direkte flammepåkjennning.

Fire fullskalatester ble utført ved ResQ Haugesund, mars 2017. Det ble sett på ulike utførelse av tømmermannskledning og takfot, samt passive brannsikringstiltak for ventilasjon og tilslutninger. Brannscenarioet i testene simulerer en rombrann som sprer seg ut av et vindu i overtenningsfasen. Det ble i tillegg til fullskalatestene utført et mindre litteraturstudium av passive brannsikringstiltak som ikke ble utprøvd i testene.

Den overordnede konklusjonen etter drøfting rundt resultatene fra testene er at lite heldige byggtekniske løsninger, med tanke på brannsikkerhet, gir kort tid til gjennombrenning i brannskallet.

Forord

Bachelorprosjektet representerer avslutningen på den treårige ingeniørutdannelsen i Brannteknikk ved Høgskolen på Vestlandet, campus Haugesund. Oppgaven utgjør 20 studiepoeng og inkluderer en teknisk rapport, et produkt og en plakat.

COWI har som oppgavestiller på vegne av sponsorer Kirkelig arbeidsgiver- og interesseorganisasjon og Riksantikvaren, gitt innspill til bacheloroppgaven.

Hovedformålet med oppgaven er å se på gjennombrenningstid til ulike elementer og tilslutninger i brannskallet, og inkluderer en teoretisk redegjørelse av aktuelle temaer som er relevant for oppgaven samt resultater fra branntestene som ble utført ved ResQ. Vi vil rette en stor takk til våre veiledere Kristian Grimstvedt og Geir Jensen for enestående veiledning og gode innspill og ideer ved utformingen av oppgaven. Gruppen ønsker også å rette en stor takk til Arjen Kraaijeveld for godt samarbeid og ypperlig veiledning i det praktiske arbeidet.

I tillegg vil vi takke Karin Axelsen ved Riksantikvaren og Ingrid Staurheim ved Kirkelig arbeidsgiver- og interesseorganisasjon for sponning av prosjektet, samt Ruth Astrid Strøm ved Securo for testprodukter.

Til slutt en stor takk til tømmerne Petur Lars i Puntabyrgi og Rolf Lervik som arbeidet godt og hardt gjennom tre lange dager med bygging av testtrigge.

Haugesund, 10.05.2017

Arne Brathole

Anniken Haagenrud

Håkon Nordvoll

Innholdsliste

Forord	iii
Innholdsliste	iv
Bideliste.....	ix
Figurliste.....	ix
Tabelliste	x
Formelliste.....	xi
Ord- og begrepsforklaring	xii
Symbolliste.....	xiii
Sammendrag	xiv
Summary	xv
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling.....	1
1.2 Tidligere arbeid.....	1
1.3 Metode	1
1.4 Forprosjekt – Grip stavkirke	1
1.5 Avgrensninger	2
1.5.1 Utvendig kledning	2
1.5.2 Takutstikk.....	3
1.5.3 Ventilasjonsåpninger	3
1.6 Brukerveiledning	3
2 Brannteori.....	4
2.1 Tre og brann.....	4
2.1.1 Forkullingshastighet	4
2.2 Brannspredningsmekanismer.....	4
2.2.1 Varmestråling	5
2.2.2 Varmeledning	5
2.2.3 Varmestrøm	5
2.2.4 Flyvebrann.....	5
2.2.5 Direkte flammekontakt.....	5
2.2.6 Rombrann	5
2.3 Energiproduksjon.....	6
2.3.1 Massefluks.....	6
2.3.2 Forbrenningseffektivitet	6
2.3.3 Varmestråling fra ekstern kilde	6
2.3.4 Tabellverdier	7

2.4	Branntesting	7
2.4.1	Standardbrann – ISO 834	7
2.4.2	SP Fire 105	7
3	Brannskallelementer	10
3.1	Tømmermannskledning	10
3.1.1	Branntekniske utfordringer	11
3.1.2	Passive brannsikringstiltak	11
3.2	Takfot	12
3.2.1	Branntekniske utfordringer	12
3.2.2	Passive brannsikringstiltak	13
3.3	Friskluftsventiler	13
3.3.1	Branntekniske utfordringer	14
3.3.2	Passive brannsikringstiltak	14
4	Metode	15
4.1	Diskusjon rundt valgt metode	15
4.2	ResQ	16
4.2.1	Standplass	16
4.3	Securo	17
4.3.1	FireBreather (FB)	17
4.3.2	Stål	17
4.3.3	Intumescentmasse	17
4.3.4	FB Hulromsventil	17
4.3.5	FB Miniventil	18
4.3.6	FB Overstrømsventil	19
4.4	Grip stavkirke	20
4.4.1	Tømmermannskledning	20
4.4.2	Takfot	22
4.4.3	Ventilasjonsåpninger	22
4.5	Testoppsett	23
4.5.1	Brennkammer	23
4.5.2	Brensel	25
4.5.3	Måleutstyr	25
4.5.4	Testelementer	27
4.5.5	Tester	27
5	Forsøk	28
5.1	Test 1 – Gjennombrenningstid kledning	28

5.1.1	Testtrigg og –elementer	28
5.1.2	Værforhold	30
5.1.3	Brenselforbruk.....	30
5.1.4	Brannutvikling.....	31
5.1.5	Brannens energiproduksjon.....	31
5.1.6	Observasjoner.....	32
5.1.7	Observasjoner av gjenværende materiale.....	33
5.1.8	Målt brannbelastning på testelementer.....	35
5.1.9	Tid til gjennombrenning.....	35
5.1.10	Diskusjon.....	36
5.2	Test 2 – Gjennombrenningstid takfot	37
5.2.1	Testtrigg og –elementer	37
5.2.2	Værforhold	39
5.2.3	Brenselforbruk.....	40
5.2.4	Brannutvikling.....	40
5.2.5	Brannens energiproduksjon.....	40
5.2.6	Observasjoner.....	41
5.2.7	Observasjoner av gjenværende materiale.....	43
5.2.8	Målt brannbelastning på testelementer.....	45
5.2.9	Tid til gjennombrenning.....	46
5.2.10	Diskusjon.....	47
5.3	Test 3 – Gjennombrenningstid tilslutninger	47
5.3.1	Testtrigg og –elementer	47
5.3.2	Værforhold	50
5.3.3	Brenselforbruk.....	51
5.3.4	Brannutvikling.....	51
5.3.5	Brannens energiproduksjon.....	51
5.3.6	Observasjoner.....	52
5.3.7	Observasjoner av gjenværende materiale.....	53
5.3.8	Målt brannbelastning på testelementer.....	55
5.3.9	Tid til gjennombrenning.....	56
5.3.10	Diskusjon.....	59
5.4	Test 4 – Gjennombrenningstid åpninger og ventiler	59
5.4.1	Testtrigg og –elementer	60
5.4.2	Værforhold	61
5.4.3	Brenselforbruk.....	62

5.4.4	Brannutvikling.....	62
5.4.5	Brannens energiproduksjon.....	63
5.4.6	Observasjoner.....	63
5.4.7	Observasjoner av gjenværende materiale.....	65
5.4.8	Målt brannbelastning på testelementer.....	65
5.4.9	Tid til gjennombrenning.....	65
5.4.10	Diskusjon.....	66
5.5	Oppsummering.....	67
6	Litteraturstudium.....	69
6.1	Ytelse av brannhemmende produkter – Kögl, Hartmann & Beikircher.....	69
6.1.1	Resultat.....	69
6.2	Brannhemmende overflatebehandling av tre – Wedvik.....	70
6.2.1	Resultat.....	70
6.3	Oppsummering.....	70
7	Diskusjon.....	71
7.1	Brannens validitet.....	71
7.1.1	Sammenligning med SP Fire 105.....	71
7.2	Feilkilder.....	72
7.2.1	Temperaturmålinger.....	72
7.2.2	Materialer.....	72
7.3	Kledning.....	73
7.3.1	Effekt av tiltak.....	73
7.4	Takfot.....	74
7.4.1	Effekt av tiltak.....	75
7.5	Tilslutninger.....	75
7.5.1	Effekt av tiltak.....	76
7.6	Åpninger og ventiler.....	76
7.7	Andre brannspredningsmekanismer.....	77
7.8	Brannskallet som helhet og applikasjonsområder for tiltak.....	77
8	Konklusjon.....	79
8.1	Kledning.....	79
8.2	Takfot.....	79
8.3	Tilslutninger.....	79
8.4	Åpninger og ventiler.....	79
9	Videre arbeid.....	80
	Referanser.....	81

Bildetekstliste	86
Figurtekstliste	86
Vedlegg A: Kommentarer til brannutvikling	I
Vedlegg B: Utregning av energiproduksjon og sensitivitetsanalyse.....	II
Vedlegg C: Gjenværende materiale Test 4.....	V

Bildeliste

Bilde 1.1 Grip stavkirke etter brannskallsikring	2
Bilde 4.1 FB Hulromsventil. Gjengitt med tillatelse	18
Bilde 4.2 FB Miniventil. Gjengitt med tillatelse	19
Bilde 4.3 FB Overstrømsventil med klaffventil	19
Bilde 4.4 Påfyllingsrør for etterfylling av brensel	24
Bilde 4.5 Termoelement type K	25
Bilde 4.6 Datalogger	26
Bilde 4.7 Vindmåler	26
Bilde 5.1 Test 1 – Plassering av termoelementer	30
Bilde 5.2 Test 2 – Testtrigg. Venstre: Kledning og takfot montert på gipskledd ramme, sett fra siden, før montering av gips på yttersiden. Høyre: Testoppsett 2 montert på toppen av brennkammer med gipsplater på yttersider og som tak	38
Bilde 5.3 Test 2 – Plassering av termoelementer	39
Bilde 5.4 Test 2 – Plassering av termoelementer	39
Bilde 5.5 Test 3 – Testtrigg	47
Bilde 5.6 Test 3 – Plassering av termoelementer	50
Bilde 5.7 Test 4 – Plassering av elementer i testtriggen. Framside, sett nedenfra.	61
Bilde 5.8 Test 4 – Plassering av termoelementer	61

Figurliste

Figur 1.1 Brannskall – Illustrering av begreper	2
Figur 2.1 Brannspredningsmekanismer	4
Figur 2.2 SP Fire 105 – Brennkammerets dimensjoner. Sett ovenfra	8
Figur 2.3 SP Fire 105 – Brennkammerets dimensjoner. Sett fra siden	8
Figur 2.4 Energiproduksjon av brann, SP Fire 105	9
Figur 3.1 Utlektet tømmermannskledning på horisontale lekter og vertikale sløyfer	10
Figur 3.2 Tømmermannskledning – Illustrering av begreper og festing av spiker/skruer	11
Figur 3.3 Saltak, gavlvegg, langvegg og takfot	12
Figur 3.4 Detalj av takfot med delvis underkledning og lufting	13
Figur 3.5 Friskluftventil	14
Figur 4.1 ResQ Haugesund	16
Figur 4.2 ResQ Haugesund – Øvre og nedre brannfelt	16
Figur 4.3 ResQ Haugesund – Standplass	17
Figur 4.4 FB Hulromsventil – Montering i utlektet vertikal kledning	18
Figur 4.5 FB Overstrømsventil – Montering i vegg	20
Figur 4.6 Grip stavkirke – Lufting av hulrom bak overligger	21
Figur 4.7 Grip stavkirke – Bruk av intumescentbånd i omlegg	21
Figur 4.8 Grip stavkirke – Ny løsning for takfot	22
Figur 4.9 Grip stavkirke – Ventilasjonsåpning i grunnmur	23
Figur 4.10 Brennkammer og brennkar	24
Figur 5.1 Test 1 – Målt temperatur i brennkammer	31
Figur 5.2 Test 1 – Utreget energiproduksjon	31
Figur 5.3 Test 1 – Målt temperatur på framside av testoppsett	35
Figur 5.4 Test 2 – Målt temperatur i brennkammer	40
Figur 5.5 Test 2 – Utreget energiproduksjon	41
Figur 5.6 Test 2 – Temperatur i underkant av testelement første 2 min	45

Figur 5.7 Test 2 – Målt temperatur i underkant av testelement B.....	46
Figur 5.8 Test 2 – Temperatur over takfot	46
Figur 5.9 Test 3 – Målt temperatur i brennkammer	51
Figur 5.10 Test 3 – Utregnet energiproduksjon	52
Figur 5.11 Test 3 – Målt temperatur i forkant av testelement.....	56
Figur 5.12 Test 3 – Målt temperatur bak A.....	57
Figur 5.13 Test 3 – Målt temperatur bak B	57
Figur 5.14 Test 3 – Målt temperatur bak C	57
Figur 5.15 Test 3 – Målt temperatur bak kledning.....	58
Figur 5.16 Test 4 – Målt temperatur i brennkammer	62
Figur 5.17 Test 4 – Utregnet energiproduksjon	63
Figur 5.18 Test 4 – Temperaturmålinger bak C, D og E.....	65
Figur 5.19 Test 4 – Temperaturmålinger bak A og B	66

Tabelliste

Tabell 2.1 Verdier for beregning av energiproduksjon	7
Tabell 3.1 Forslag til passive brannsikringstiltak for utvendig kledning	12
Tabell 3.2 Forslag til passive brannsikringstiltak for takfot.....	13
Tabell 3.3 Forslag til passive brannsikringstiltak for friskluftsventiler	14
Tabell 4.1 Brennkammerets dimensjoner.....	23
Tabell 4.2 Oversikt over gjennomførte tester.....	27
Tabell 5.1 Test 1 – Spesifikasjoner	28
Tabell 5.2 Test 1 – Plassering av termoelementer.....	30
Tabell 5.3 Test 1 – Værforhold	30
Tabell 5.4 Test 1 – Brenselforbruk.....	30
Tabell 5.5 Test 1 – Observasjoner.....	32
Tabell 5.6 Test 1 – Gjenværende materiale.....	33
Tabell 5.7 Test 1 – Gjennomsnitt målt temperatur i fullt utviklet brann	35
Tabell 5.8 Test 1 – Gjennombrenning og forkulling.....	36
Tabell 5.9 Test 2 – Spesifikasjoner	38
Tabell 5.10 Test 2 – Plassering av termoelementer.....	39
Tabell 5.11 Test 2 – Værforhold	39
Tabell 5.12 Test 2 – Brenselforbruk.....	40
Tabell 5.13 Test 2 – Observasjoner.....	41
Tabell 5.14 Test 2 – Gjenværende materiale.....	44
Tabell 5.15 Test 2 – Tid til gjennombrenning.....	47
Tabell 5.16 Test 3 – Spesifikasjoner	48
Tabell 5.17 Test 3 – Plassering av termoelementer.....	50
Tabell 5.18 Test 3 – Værforhold	50
Tabell 5.19 Test 3 – Brenselforbruk.....	51
Tabell 5.20 Test 3 – Observasjoner.....	52
Tabell 5.21 Test 3 – Gjenværende materiale.....	54
Tabell 5.22 Test 3 – Gjennomsnittlig målt temperatur i forkant av testelementene	56
Tabell 5.23 Test 3 – Tid til gjennombrenning.....	58
Tabell 5.24 Test 4 – Beskrivelse av testelementer	60
Tabell 5.25 Test 4 – Værforhold	62
Tabell 5.26 Test 4 – Brenselforbruk.....	62

Tabell 5.27 Test 4 – Observasjoner.....	63
Tabell 5.28 Test 4 – Tid til synlig flamme	66
Tabell 5.29 Oppsummering – Tid til gjennombrenning.....	67
Tabell 6.1 Oversikt over testserie av brannhemmende produkter.....	69

Formelliste

Formel 1 Energiproduksjon.....	6
Formel 2 Massefluks	6
Formel 3 Varmestråling fra ekstern kilde.....	6
Formel 4 Standard tid-temperaturkurve etter ISO 834.....	7

Ord- og begrepsforklaring

Ord / Begrep	Betydning / Definisjon
Emissivitet	Angir grad av stråling fra et materiale. ¹
Flyvebrann	Brennende partikler eller gjenstander fra en brann som transporteres i luften eller faller ned og kan antenne brennbare materialer. ¹
Forkantbord	Et bord som er plassert i forkant av takfoten og ligger gjerne bak takrennen. Forkantbordets funksjon er å beskytte den bakenforliggende takkonstruksjonen. ²
Forkullingshastighet	Mål for hvor fort forkullingen brer seg innover i trevirket. ¹
Gjennom Brenningstid	I denne rapporten: Tid til første flamme på uekspontert side av et objekt/element/materiale.
Intumescent	Noe som sveller opp når eksponert for varme.
ISO 834	Standard tid-temperaturkurve. En nominell kurve som fremstiller en modell for fullt utviklet brann i en branncelle. ¹
Konflagrasjon	Meget stor brann som har en flammefront bestående av flere bygninger eller bredt skogsområde, og som beveger seg fort og går over naturlige eller skapte branngater som veier o.l. ¹
Maskevidde	Størrelse på masker i netting/garn. ²
Massefluks	Massetapsrate for en overflate. Oppgis i [kg/m ² s]. ¹
Massetapsrate	Forbrent masse per tidsenhet. Oppgis i [kg/s]. ¹
Passiv brannmotstand	En barriere som vil gi termisk beskyttelse ved brann og redusere hastigheten for varmeoverføring til det beskyttede området eller objektet. ¹
Punktbrann	Ny brann startet ved flyvebrann utenfor området til den opprinnelige brannen. ¹
Pyrolyse	Irreversibel kjemisk spaltning av et materiale under påvirkning av varme. ¹
Raftekaske	Underbygg for takutstikk. ²
SP Fire 105	Svensk standard/metode for branntesting av fasade.
Test	I denne rapporten: Brannforsøk
Testelement	I denne rapporten: Et objekt eller materiale som skal testes
Testoppsett	I denne rapporten: Alt utstyr og materiell nødvendig for gjennomføring av test
Testtrigg	I denne rapporten: Rammekonstruksjon med testelementer
Ulmebrann	Forbrenning i et fast materiale uten flamme og uten utsendelse av lys fra forbrenningssonen. ¹
Vannbord	Vannrett eller skråstilt planke der hovedformålet er å lede vekk regnvann. ²
Vindsperre	Sjikt av lufttett papp eller plate som settes opp på utvendig side av varmeisolasjon og skal hindre inntrenging av kald luft i isolasjonen. ²

¹ Kollegiet for brannfaglig terminologi (KBT) www.kbt.no

² Store Norske Leksikon (SNL) www.snl.no

Symbolliste

Symbol	Beskrivelse	Enhet
A_f	Brannareal	[m ²]
ε	(Gresk: Epsilon) Emissivitet	[-]
ΔH_c	Total forbrenningsvarme	[J/kg]
L_v	Fordampningsvarme	[J/kg]
\dot{m}''	Massefluks	[kg/m ² s]
φ	(Gresk: Phi) Synsfaktor	[-]
\dot{Q}	Energiproduksjon	[W]
\dot{Q}_E''	Varmestråling fra ekstern kilde	[W/m ²]
\dot{Q}_F''	Tilbakestråling fra flammer	[W/m ²]
\dot{Q}_L''	Tilbakestråling til omgivelsene	[W/m ²]
σ	(Gresk: Sigma) Stefan-Boltzmanns konstant. Verdi: $5,67 \cdot 10^{-8}$	[W/(m ² ·K ⁴)]
T	Temperatur	[K] eller [°C]
T_0	Starttemperatur	[K] eller [°C]
T_g	Temperatur, ekstern varmekilde	[K] eller [°C]
T_s	Temperatur, brenselets overflate	[K] eller [°C]
t	Tid	[s]
χ	(Gresk: Chi) Forbrenningseffektivitet	[-]

Sammendrag

Hensikten med dette bachelorprosjektet er å få innsikt i forskjellige brannskallelementer, og å gi en indikasjon på hvordan ulike brannskallelementer, og utførelsen av disse, kan påvirke brannsikkerhet.

Brannskall er det ytterste materialsjiktet til en bygning, og består dels av elementer som kan klassifiseres for brannmotstand i henhold til etablerte standarder, og dels av elementer som er uklassifisert og/eller oversett som brannspredningsvei i praksis.

I motsetning til tidligere arbeid er det i denne oppgaven valgt å se på brannskallets motstand mot gjennombrenning ved direkte flammepåkjennning. Grunnlaget for resultatene til oppgaven dannes dermed ved å gjennomføre fullskalatester av utvalgte brannskallelementer.

Fullskalatestene ble utført ved ResQ Haugesund, mars 2017. Det ble totalt gjennomført fire tester, der det ble sett på ulik utførelse av tømmermannskledning og takfot, samt passive brannsikringstiltak for ventilasjon og tilslutninger. Brannscenarioet i testene simulerer en rombrann som sprer seg ut av et vindu i overtenningsfasen, noe som anses å være den verste sannsynlige brannbelastningen elementene i brannskallet kan utsettes for. Testoppsettet skjeler til den svenske testmetoden for fasader – SP Fire 105 – dog med store modifikasjoner.

Det ble i tillegg til fullskalatestene utført et mindre litteraturstudium av passive brannsikringstiltak som ikke ble utprøvd i testene.

Den overordne konklusjonen etter drøfting rundt resultatene fra testene, er at lite heldige byggetekniske løsninger, med tanke på brannsikkerhet, gir kort tid til gjennombrenning i brannskallet. Det konkluderes også med at relativt enkle tiltak vil ha god effekt på å øke motstand mot gjennombrenning, samt tetthet av brannskallet. Resultatene viser at det er viktig å vurdere elementene i brannskallet som en enhet, og ikke bare den teoretiske motstanden til materialene som utgjør elementet. I utformingen av brannskallelementer er det derfor viktig å dimensjonere alle detaljer for å ivareta den ønskede motstandstiden mot gjennombrenning. Samtidig må også brannskallet sees som en helhet da det er av begrenset verdi å utføre tiltak kun på enkelte brannskallelementer.

Arbeidet med rapporten avdekker flere interessante momenter ved brannskallsikring som er verdt å ta med i videre arbeid.

Summary

The purpose of this Bachelor's thesis is to gain insight into different elements in the fire protective building envelope, and to give an indication on how these elements, and different executions of them, can affect fire safety.

The fire protective building envelope is the outermost material layer of a building. It consists partly of elements that can be classified for fire resistance according to established standards and partly by elements that are unclassified and/or ignored as a pathway for fire.

In contrast to previous work, this thesis examines the resistance elements have to avoid flame spread to the unexposed side by exposing them to a direct flame. The results presented were gained by conducting full scale tests of selected elements in the fire protective building envelope.

The tests were conducted at ResQ Haugesund in March of 2017. In total, four tests were conducted. Different execution of timber double cladding and eaves were examined in addition to fire protective measures for ventilation and different methods of ensuring vented cladding and eaves. The simulated fire is an enclosure fire, past flashover, which is spreading out through a window. This is considered to most likely be the worst case fire load for the tested elements. The design is inspired by the Swedish test method – SP Fire 105 – albeit with major modifications.

The thesis also examines other fire protection measures not included in the full scale tests.

The overall conclusion is that elements that are designed without concern for fire safety will have a low resistance towards flame spread to the unexposed side. Relatively simple measures can however make a good impact on this resistance in addition to creating a sealed fire protective building envelope. The results indicate the necessity of considering the elements as a whole – not just the theoretical resistance of the materials that complete the element. In the design of elements in the fire protective building envelope it is therefore important that all details are considered to achieve the desired resistance. In addition it is important to consider the fire protective building envelope as a whole. Measures implemented on only certain fire protective elements will be of limited value.

The conducted tests reveal several interesting areas which is valuable for future work on the fire protective building envelope.

1 Innledning

Ved branner i eldre kirker og trebygninger er det blitt observert rask brannspredning på grunn av lite heldige byggtekniske løsninger med tanke på brannsikkerhet. Det har derfor meldt seg et behov for å kunne sikre disse løsningene med pålitelige passive brannvernløsninger, både for å forhindre rask brannspredning og for å kunne motstå ulike brannspredningsmekanismer. Med bakgrunn i dette ble det i 2014, i regi av Kirkelig arbeidsgiver- og interesseorganisasjon (KA), startet et prosjekt for å ta hånd om brannvernsproblematikk ved eldre trekirker. I dette prosjektet er blant annet Riksantikvaren (RA) og COWI blitt involvert [1].

Brannskall er det ytterste materialsjiktet til en bygning, og består dels av elementer som kan klassifiseres for brannmotstand i henhold til etablerte standarder, og dels av elementer som er uklassifisert og/eller oversett som brannspredningsvei i praksis [2].

1.1 Problemstilling

Dominerende spredningsveier for en fasadebrann kan knyttes til blant annet tilslutninger mellom brannskallelementer og lufteåpninger i konstruksjonen [2].

Hensikten med bachelorprosjektet er å få innsikt i forskjellige brannskallelementer, og å gi en indikasjon på hvordan ulike brannskallelementer, og utførelsen av disse, kan påvirke brannsikkerhet.

1.2 Tidligere arbeid

Lærdalsbrannen i januar 2014 har ført til flere studier rundt brannsikring av verneverdig trehusbebyggelse. Et av disse arbeidene ble utført som masteroppgave ved NTNU av Nils Martin Tobias Jarnskjold, våren 2015 [3]. Oppgaven fokuserer på ulike brannspredningsmekanismer og brannskallets betydning for brannsikkerheten. Oppgaven utarbeider til slutt en metode for klassifisering av totale brannskall.

Som en del av sin oppgave ser Jarnskjold på forskningsarbeid utført av The National Institute of Technology and Standards (NIST) vedrørende brannspredning og antennelse forårsaket av gnistregn/flyvebrann.

1.3 Metode

I motsetning til tidligere arbeid er det i denne oppgaven valgt å se på brannskallets motstand mot gjennombrenning ved direkte flammepåkjønning. Grunnlaget for resultatene til oppgaven dannes dermed ved å gjennomføre fullskalatester av brannskallelementer.

Det er i tillegg til fullskalatester gjennomført et mindre litteraturstudium av passive brannsikringstiltak som ikke dekkes av testene.

1.4 Forprosjekt – Grip stavkirke

På øya Grip utenfor Kristiansund ligger et nedlagt fiskevær bestående av tett trehusbebyggelse. Sentralt i bebyggelsen står en gammel stavkirke, trolig med opprinnelse fra siste halvdel av 1400-tallet. Kirken er vernet av Riksantikvaren [4] [5].

I 2015/2016 ble det utført passiv brannskallsikring av Grip stavkirke på oppdrag fra Riksantikvaren, se bilde 1.1.

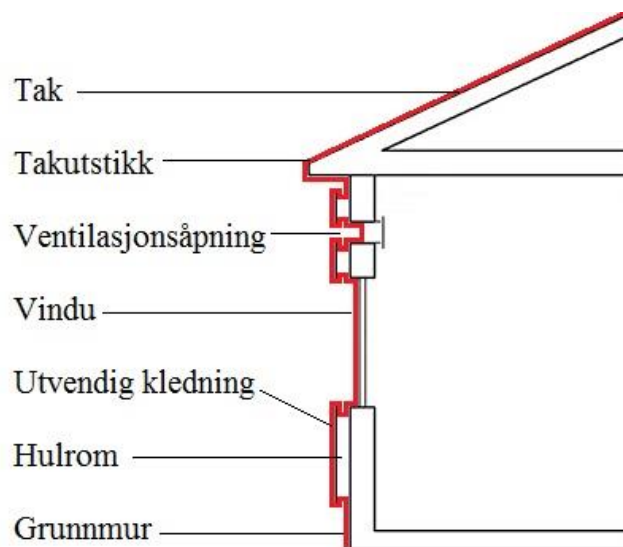


Bilde 1.1 Grip stavkirke etter brannskallsikring. Gjengitt med tillatelse. Kilde: [6]

Utbedringene ble prosjektert av COWI og arkitekt Helge Aarset, mens arbeidet ble gjennomført av Petur Lars i Puntabyrgi i samarbeid med Lervike AS [6] [7]. Oppdraget kan anses som et pilotprosjekt der det er blitt forsøkt å gi brannskallet en total klassifisering mot brann. Det er i denne oppgaven valgt å fullskala-teste enkelte av løsningene fra dette arbeidet.

1.5 Avgrensninger

Oppgaven er avgrenset til å se på passive brannvernløsninger for brannskall. Brannskallet kan deles inn følgende elementer: Vegg, tak, vindu, dør, åpninger, detaljer og grunnmur [7], se figur 1.1. Denne oppgaven avgrenses til å kun se på utvendig kledning, takutstikk og ventilasjonsåpninger.



Figur 1.1 Brannskall – Illustrering av begreper. Utklipp fra original kilde. Modifiseringer: Tekst, rød merking, annen mindre redigering. Med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 752.601, figur 51, SINTEF Byggforsk

1.5.1 Utvendig kledning

Den mest utbredte kledningstypen i Norge er den såkalte «tømmermannskledningen» [8]. For å avgrense oppgaven er det kun valgt å se nærmere på denne typen kledning, med tilhørende branntekniske utfordringer og løsninger for brannbeskyttelse.

1.5.2 Takutstikk

Skrå tak, eller saltak, er den dominerende taktypen for trehus i Norge [9] [10]. Yttervegger hos hus med saltak defineres som enten langvegg eller gavlvegg [11]. Denne oppgaven avgrenses til å kun gjøre rede for takutstikk over langvegg hos tradisjonelle hus med skråtak. Slike takutstikk kalles takfot. Det blir sett på ulike branntekniske utfordringer ved takfot, så vel som løsninger for brannbeskyttelse.

1.5.3 Ventilasjonsåpninger

I Norge er det svært vanlig med naturlig ventilasjon, spesielt i eldre bygg [12]. Dette ventilasjonsprinsippet medfører bruk av friskluftsventiler i ytterveggen som skaper en direkte åpning mellom utsiden og rommene innenfor brannskallet. Oppgaven avgrenses til å se på friskluftsventiler og løsninger for brannbeskyttelse av disse.

1.5.4 Gjennombrenningstid

Gjennombrenningstid defineres forskjellig i ulike standardiserte testmetoder, som også opererer med ulik brannpåkjenning i testforløpet. Ettersom brannforsøkene i denne rapporten ikke følger en spesifikk standard, er det heller ikke faglig forsvarlig å benytte seg av standardiserte definisjoner av gjennombrenning. I denne rapporten er det derfor valgt å definere gjennombrenningstid som tid til første synlige flamme på ueksponert side.

1.6 Brukerveiledning

Opgaven er bygd opp av ni kapitler:

- Kapittel 1: Innledning
- Kapittel 2 og 3: Teorikapitler som gjør rede for de aktuelle emnene for oppgaven
- Kapittel 4: Metodekapittel med forklaring av framgangsmåte og valg av løsninger og utførelse
- Kapittel 5: Forsøkskapittel. Gjør rede for praktiske forsøk, og presenterer spesifikke resultater og tilhørende diskusjon rundt disse.
- Kapittel 6: Litteraturstudium av aktuelle løsninger som finnes på markedet, men som ikke er blitt testet.
- Kapittel 7: Overordnet drøfting av kapittel 5 og 6.
- Kapittel 8: Konklusjon
- Kapittel 9: Forslag til videre arbeid

2 Brannteori

For et brannskall vil det være nødvendig å kunne beskytte seg mot utvendig brannsmitte fra nærliggende bygninger og vegetasjon, men også mot intern rombrann som sprer seg ut gjennom et vindu [13]. Et brannskall med brennbar kledning er en potensiell arena for fasadebrann. Dersom en eventuell brann klarer å slå rot i kledningen vil kontinuiteten i skallet ha mye å si hvor stor brannen blir.

2.1 Tre og brann

For at tre skal brenne må det igjennom en termisk nedbrytningsprosess kalt pyrolyse. Denne prosessen fører til at treet avgir brennbare komponenter som antenner i kontakt med oksygen, i tillegg til at det dannes et glødende lag av kull [14].

Treverk inneholder ofte mye fuktighet som må fordampes før pyrolyseprosessen kan starte. Dette begynner når treverket oppnår ca. 100 °C. Ved ca. 160-180 °C begynner nedbrytningen av treverkets hovedbestandtdeler og det vil være antydninger til forkulling på eksponerte flater [14].

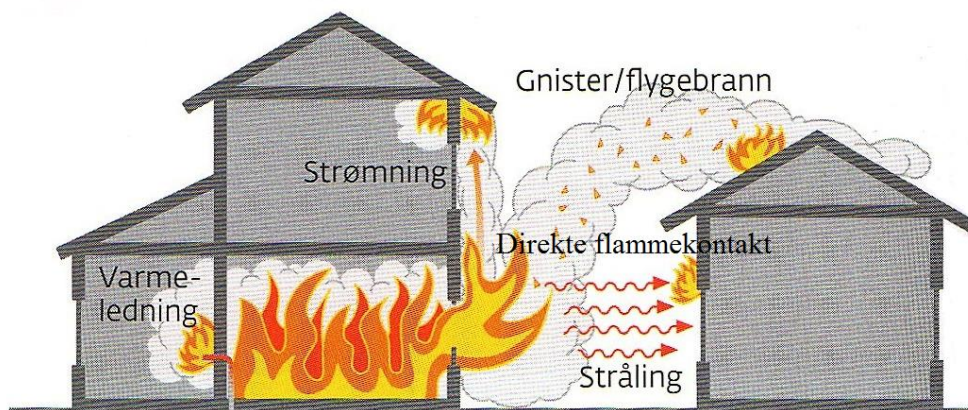
Ved ca. 300 °C begynner den fysiske strukturen i treverket å brytes ned og forkullingslaget etableres. Dette deler treverket i to distinkte lag, et ytre forkullingslag og indre lag med friskt treverk. Forkullingslaget forsinket temperaturstigningen og oksygentilgangen til det indre sjiktet, og fungerer i praksis som et varmeisolerende beskyttelseslag på grunn av lav varmeledningsevne [14].

2.1.1 Forkullingshastighet

Forkullingshastigheten [mm/min] beskriver hvor raskt kullsjiktet brer seg innover i det friske tresjiktet. Treverk brenner forutsigbart, og har en tilnærmet konstant forkullingshastighet mellom 0,6-0,8 mm/min etter forkullingslaget er etablert. Treverkets tetthet, fuktinnhold, tykkelse og fiberretning er likevel faktorer av betydning, sammen med varmepåkjønning [15].

2.2 Brannspredningsmekanismer

Brannspredning skjer som følge av ulike mekanismer, hovedsakelig varmestråling, varmestrøm, varmeledning, flyvebrann og direkte flammekontakt. For brannskall generelt er det antatt at den verst tenkelige brannpåkjenningen kommer som følge av en intern brann/rombrann som sprer seg ut via vindu og belaster kledning og takfot. Ulike brannspredningsmekanismer er illustrert i figur 2.1.



Figur 2.1 Brannspredningsmekanismer. Modifikasjoner: Påført tekst «direkte flammekontakt». Med tillatelse. Illustrasjon: David Keeping. Kilde: Brann i bygg, figur 5.1, Guttorm Liebe, Norsk brannvernforenings forlag

2.2.1 Varmestråling

Varmestråling er den dominerende varmetransportmekanismen i fullt utviklede branner, der energien i strålingen hovedsakelig bestemmes av temperaturen i det utstrålende objektet (flammer, røykgass, etc.). Brannsmitte til andre objekter/materialer som følge av stråling vil også være avhengig av synsfaktor og materialeegenskaper [16].

2.2.2 Varmeledning

Varmeledning, også kalt konduksjon, er varmeoverføring gjennom et fast materiale. Brannspredning som konsekvens av varmeledning i bygningsdeler skjer ved at varmeenergi ledes fra et område med høy temperatur til et annet med lav temperatur. Dette er spesielt en risiko ved materialer som leder varme godt, for eksempel stål og kopper [16].

2.2.3 Varmestrøm

Varmestrøm, også kalt konveksjon, inntreffer når et fluid, for eksempel varm røykgass, overfører varme til et materiale ved å strømme over det. Konveksjon er den dominerende varmetransportmetoden i startfasen av en brann og sørger for forvarming av objekter og materialer [16].

Antennelse som følge av varmestrøm forutsetter at det strømmende fluidet har en temperatur på flere hundre grader celsius. I forbindelse med et brannskall kan dette kan enten skje ved brann og varm røyk ut av et vindu, eller ved brann i svært tett nabobebyggelse [17].

2.2.4 Flyvebrann

Når bygninger, trær og vegetasjon brenner blir det produsert gnister og glør. Disse stiger til værs på grunn av oppdriftskrefter, og kan transporteres over store områder via luftstrømmer, og antenne brennbart materiale der de lander. Dette omtales som flyvebrann. I tette områder av bygninger og/eller vegetasjon kan flyvebrann føre til *konflagrasjon*.

Partiklene i en flyvebrann kan være så små at de enkelt trenger inn i sprekker og åpninger i brannskallet. Antennelse som følge av flyvebrann vil forekomme som enten *punktbrann* eller *ulmebrann* der partiklene lander, forutsatt at partiklene har nok energi til å fortsette å brenne når de lander [18] [19] [20].

2.2.5 Direkte flammekontakt

Direkte flammekontakt kombinerer mekanismene varmestrøm og varmestråling. Flammens brannspredningspotensiale påvirkes av flere faktorer, som blant annet temperatur, volum og emissivitet. For en brann ut av et vindu vil åpningens dimensjoner ha mye å si for hvordan flammen former seg på utsiden. I tillegg vil vindforhold være bestemmende for hvordan flammene strekker seg, noe som kan påvirke antennelse av fasade og nabobygg [17] [21] [22].

2.2.6 Rombrann

En rombrann består normalt av fire faser kategorisert ut fra temperaturutviklingen i rommet. De fire fasene er antennelse, vekst, fullt utviklet brann og avkjøling. I vekstfasen forekommer ofte et fenomen kalt overtenning. Dette fenomenet beskriver en meget rask overgang fra vekstfase til fullt utviklet brann der alle overflater i brannrommet antennes. Overtenningen kan kjennetegnes ved at temperaturen i røyklaget overstiger 600 °C [23].

Etter overtenning går brannen over til å være en fullt utviklet brann, der brannen har sin maksimale energiproduksjon. Brannen blir mer avhengig av oksygen enn av brensel for å opprettholde størrelsen og defineres dermed som en ventilasjonskontrollert brann. I denne fasen kan temperaturer i brannrommet spenne fra 700-1200 °C [23].

På grunn av termisk utvidelse av glass vil vanlige vinduer sprekke og falle ut ved høye temperaturer. Dette medfører at flammene blir tilført mer oksygen. I tillegg vil røyk velte ut av brannrommet og antennes på utsiden [24] [25].

2.3 Energiproduksjon

Energiproduksjon for en brann kan beregnes ved bruk av formel (1) [23]:

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c \quad (1)$$

Der \dot{Q} er energiproduksjon [W], A_f er brannens areal [m²], \dot{m}'' er massefluks [kg/m²s], χ er forbrenningseffektivitet [-] og ΔH_c er den totale forbrenningsvarmen [J/kg] til brenselet.

2.3.1 Massefluks

For brann i et rom kan massefluks beregnes ved formel (2) [23]:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L''}{L_v} \quad (2)$$

Der \dot{Q}_F'' er tilbakestråling fra flammen til brenselet [W/m²], \dot{Q}_E'' er varmestråling på brenselet fra ekstern kilde [W/m²], \dot{Q}_L'' er stråling fra brenseloverflaten til omgivelsene [W/m²] og L_v er fordampningsvarmen [J/kg].

2.3.2 Forbrenningseffektivitet

Forbrenningseffektivitet er et mål på hvor effektivt brenselet forbrennes og har en verdi mellom 0-1 [-]. Verdien forklarer forholdet mellom den effektive forbrenningsvarmen og den totale forbrenningsvarmen (ΔH_c) [26] [23].

2.3.3 Varmestråling fra ekstern kilde

Varmestråling fra en ekstern kilde (for eksempel røyklag ved en rombrann), \dot{Q}_E'' , kan beregnes ved formel (3) [23]:

$$\dot{Q}_E'' = \varphi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4) \quad (3)$$

Der \dot{Q}_E'' er ekstern varmefluks [W/m²], φ er synsfaktor [-], ε er emissivitet [-], σ er Stefan-Boltzmanns konstant [5,67·10⁻⁸ W/(m²·K⁴)], T_g er temperatur for ekstern kilde [K] og T_s er brenselets overflatetemperatur [K].

Emissivitet

Emissiviteten, ε , beskriver stråleeffektiviteten for utstrålingskilden. Verdien for emissivitet ligger mellom 0-1 [-], der 1 beskriver 100% utstråling. Generelt er emissivitet avhengig av blant annet temperatur, flammens tykkelse og innhold av sotpartikler. For vanlige flammer er det vanlig med en verdi mellom 0,3-0,7 [17].

Synsfaktor

Synsfaktoren, φ , beskriver intensiteten av strålingen fra det utstrålende objektet til mottakeren, og er avhengig av stråleobjektets dimensjoner og avstand til mottaker. Verdien for synsfaktoren ligger mellom 0-1 [-], der 1 betyr at størrelsen og avstanden til det utstrålende objektet svarer til hele mottakerens verdensbilde/synsfelt [26] [17].

2.3.4 Tabellverdier

Relevante verdier for beregning av energiproduksjon er presentert i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Verdier for beregning av energiproduksjon

	χ [-]	ΔH_c [MJ/kg]	L_v [kJ/kg]	\dot{Q}_F'' [kW/m ²]	\dot{Q}_L'' [kW/m ²]
Parafin	0,90-0,91 [27] [28]	43,2 [23]	850 [28]	29 [28]	3,0 [28]

2.4 Branntesting

Brannutvikling styres av mange faktorer, noe som gjør det vanskelig å forutsi hvordan en brann vil utarte seg. I forbindelse med testing av bygningsdeler og -materialer er det derfor utviklet standardbranner. Standardbranner representerer ikke virkelige branner, og er utviklet for å gi større belastning enn hva som er forventet ved en vanlig bygningsbrann. Slike branner er gjerne uttrykt ved en tid-temperaturkurve [16]. I tillegg til standardbranner er det også utviklet en rekke testmetoder for fasadebrann. Disse metodene tar ofte utgangspunkt i en rombrann som sprer seg ut via vindu.

2.4.1 Standardbrann – ISO 834

For branntesting i Norge benyttes en standard tid-temperaturkurve beskrevet i ISO 834. Kurven regnes som en konservativ tilnærming av en forventet bygningsbrann. Kurven er gjengitt med formel (4) [16]:

$$T = T_0 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad (4)$$

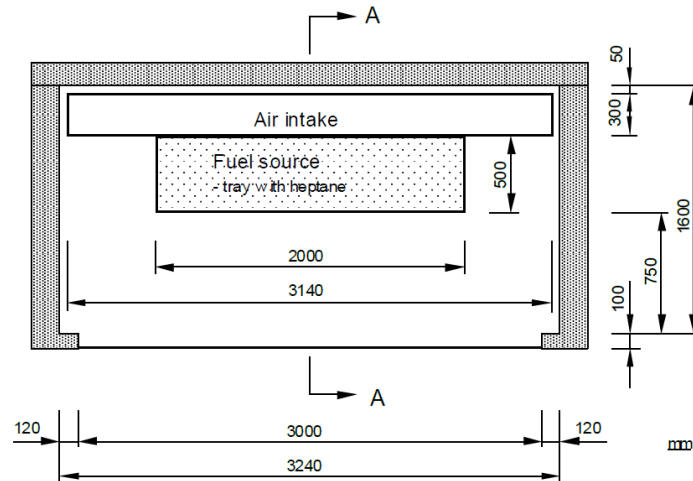
Der T er temperatur [°C] etter tiden t [s]. T₀ er starttemperatur [°C].

2.4.2 SP Fire 105

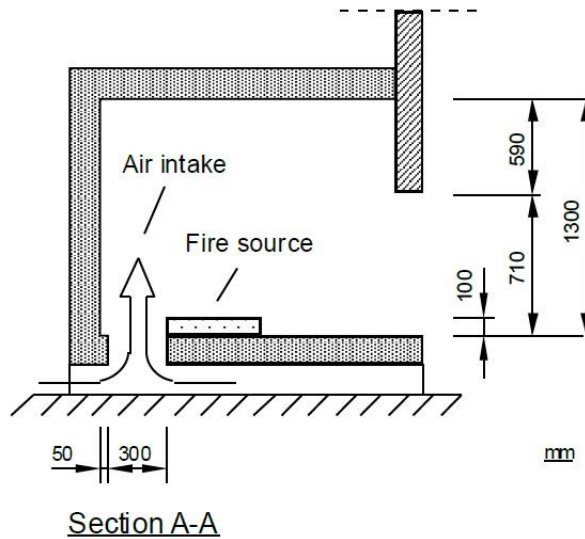
SP Fire 105 er en svensk standard for fullskalatesting av fasadeprodukter. I Norge er testen anerkjent som gyldig test ved spesifikk prøving [29]. Metoden skal avgjøre hvordan materialer og/eller konstruksjonsteknikker av eksterne vegger eller kledninger reagerer på en simulert rombrann der flammene kommer ut av vindu i første etasje av et 3-etasjers bygg.

Brannens dimensjoner

I SP Fire 105 benyttes et brennkar med 60 liter heptan som brannkilde. Brennkammerets dimensjoner, med kar, tilluftsåpninger og hovedåpning er illustrert i figur 2.2 og 2.3. [30].

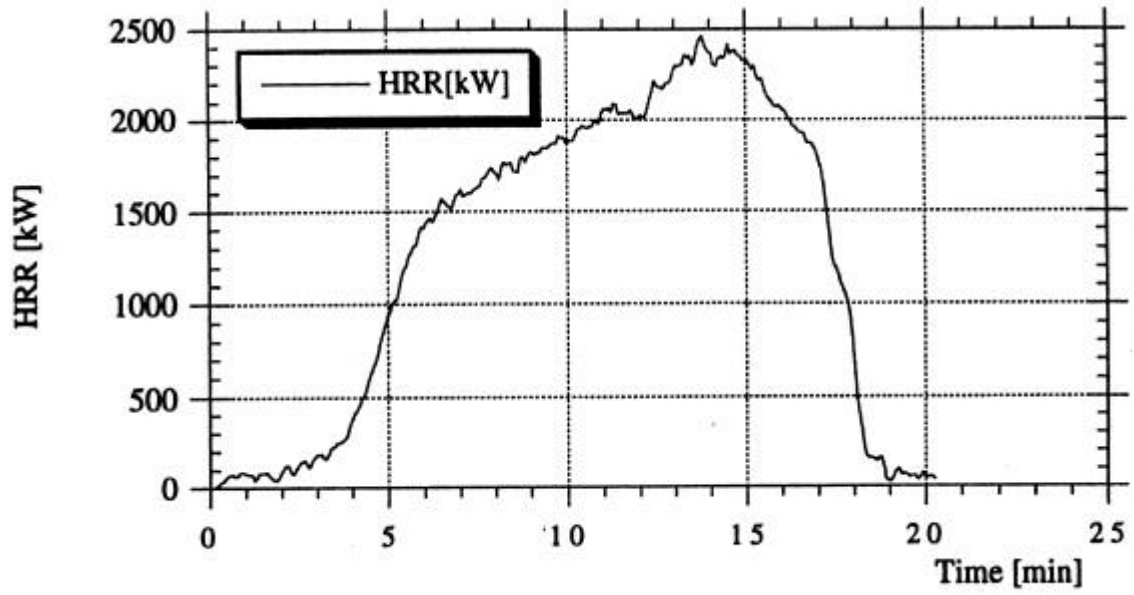


Figur 2.2 SP Fire 105 – Brennkammerets dimensjoner. Sett ovenfra. Utklipp fra original figur. Utgjør sammen med figur 2.3 total figur. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: SP Fire 105, figur 6.2.2, SP Technical Research Institute of Sweden, Department of Fire Technology



Figur 2.3 SP Fire 105 – Brennkammerets dimensjoner. Sett fra siden. Utklipp fra original figur. Utgjør sammen med figur 2.2 total figur. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: SP Fire 105, figur 6.2.2, SP Technical Research Institute of Sweden, Department of Fire Technology

På toppen av brennkaret er det plassert en form for rist som reduserer tilbakestråling fra røyklaget i brennkammeret, da denne reduserer synsfaktoren. Brannen i SP Fire 105 har en maksimal energiproduksjon på ca. 2,5 MW [30], som framstilt i figur 2.4.



Figur 2.4 Energiproduksjon av brann, SP Fire 105. Gjengitt med tillatelse. Kilde: SP Technical Research Institute of Sweden, Department of Fire Technology

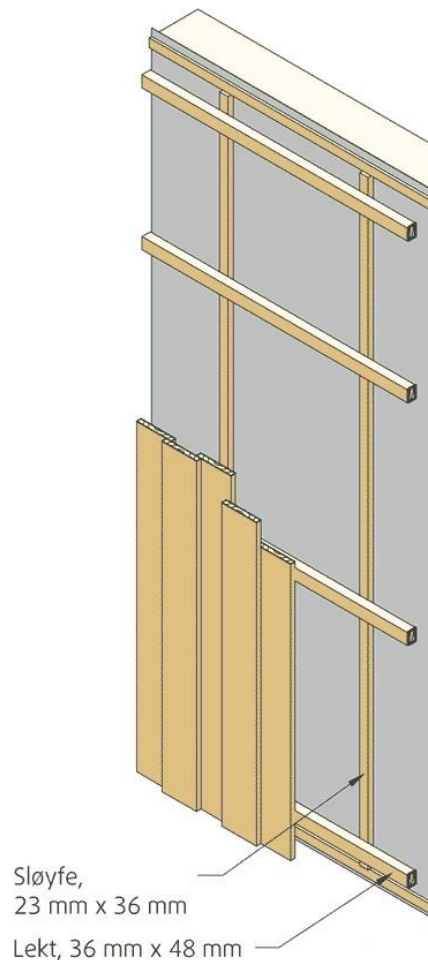
3 Brannskallelementer

Brannskallets ytelsesnivå kan bestemmes av de ulike elementene i brannskallet, sammen med elementenes grad av passiv brannmotstand og kontinuitet/tetthetsgrad av brannskallet [3] [31]. Det er viktig at brannskallet opprettholder sin tetthet for å unngå rask spredning utvendig så vel som spredning inn i bygning. Dette kapittelet beskriver teorien bak de brannskallelementene som oppgaven er avgrenset til.

3.1 Tømmermannskledning

En kledning har som funksjon å verne bakenforliggende konstruksjon mot værpåkjenninger. Hos eldre bygninger kan man finne tilfeller av kledning montert direkte på konstruksjonen, men etter dagens standard er det vanlig å lekte ut kledningen for å skape et hulrom til drenering og lufting [32] [33].

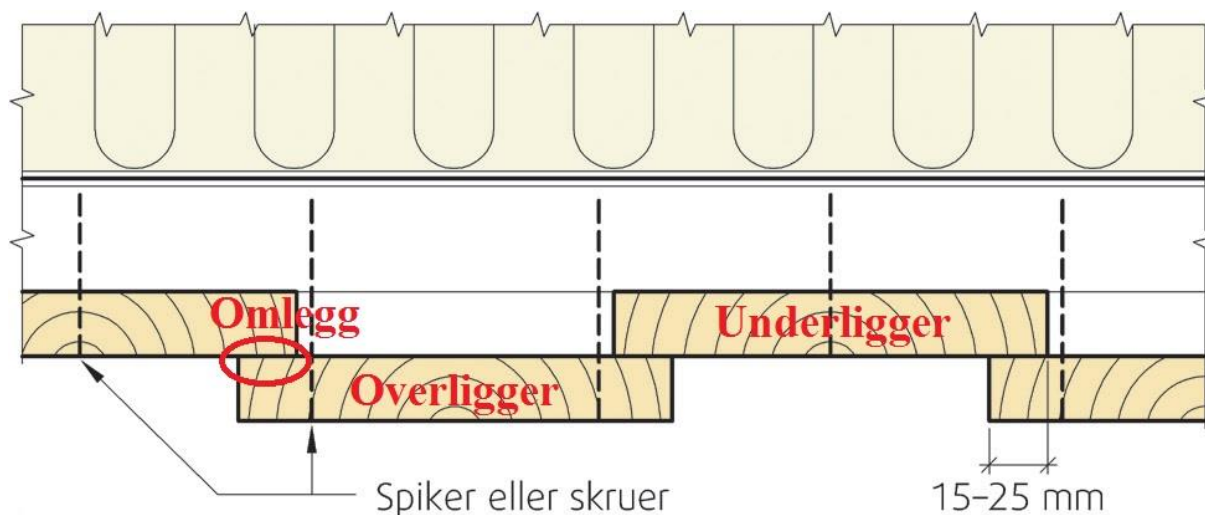
Tømmermannskledning er en form for stående kledning, noe som betyr at trebordene monteres vertikalt i lengderetning. For å skape hulrom til drenering og lufting lektes kledningen ut slik at det dannes en kontinuerlig luftspalte i underkant og overkant. Det er vanlig å lekte ut tømmermannskledningen med horisontale lekter av 30-36 mm tykkelse og vertikale sløyfer av 18-23 mm tykkelse [34], se figur 3.1.



Figur 3.1 Utlektet tømmermannskledning på horisontale lekter og vertikale sløyfer. Utklipp fra original figur. Med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 523.255, figur 43, SINTEF Byggforsk

Tømmerskledningen monteres med overlappende trebord, kalt *overligger* og *underligger*. Disse har vanligvis et identisk rektangulært tverrsnitt, men variasjoner forekommer. Overlappingen mellom bordene kalles *omlegg*. Omlegget er vanligvis 15-25 mm bredt [35] [36] [34].

Ved festing av spiker/skruer er det viktig at disse ikke føres igjennom omleggene da dette hindrer fuktbevegelser i trebordene. For tømmermannskledning er det vanlig å feste to spiker i overligger og én i underligger [34]. Se forklaring av begreper, samt montering av spiker, i figur 3.2.



Figur 3.2 Tømmerskledning – Illustrering av begreper og festing av spiker/skruer. Modifiseringer: Rød tekst og merking. Med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 542.101, figur 63a, SINTEF Byggforsk

Ved valg av lengde på spiker skal det tas hensyn til kledningstype og lektetykkelse, men spikeren bør generelt ha et spikerfeste på 35 mm i underlaget for å oppnå god forankring. Ved bruk av skruer kan forankringsdybden reduseres. Det er viktig at vindspærren på bakenforliggende konstruksjon ikke penetreres. [34].

3.1.1 Branntekniske utfordringer

Brannmotstand hos trekledning bestemmes hovedsakelig av tykkelsen på trebordene og kan derfor enkelt forsterkes ved å øke tykkelsen. På grunn av utlekting vil en av utfordringene ved en eventuell brann være å forhindre brannspredning til hulrommet bak kledningen, noe som vil kompromittere kledningens brannmotstand uavhengig av tykkelse. Ettersom slike hulrom konstrueres for lufting og drenering er de ofte tørre og gjennomluftet, noe som skaper ideelle forhold for at en brann skal kunne spre seg raskt. En brann i hulrommet bak kledningen vil kunne spre seg opp til ti ganger raskere enn en brann på utsiden, og er i tillegg anerkjent som et stort problem ved slokkearbeid [37] [31]. Den enkleste adkomstveien for en brann til hulrom bak kledning er i tilslutningen/overgangen mellom grunnmur/vindu og kledning.

Over tid vil treverk slites og brytes ned av vær og vind, og ofte vil trepanel krumme seg ved tørking [38]. Dette kan føre til sprekker i selve trepanelene, men kan også føre til at omleggene sprekker opp og skaper utettheter mellom trepanelene. Slike utettheter kan også framkomme som følge av feilmontering.

3.1.2 Passive brannsikringstiltak

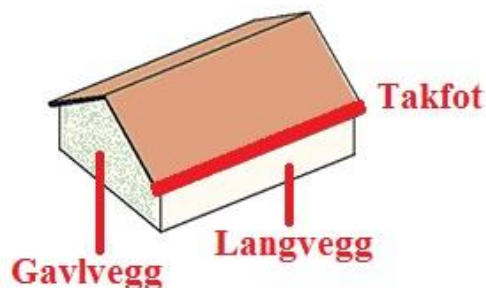
Forslag til passive brannsikringstiltak for utvendig kledning er presentert i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Forslag til passive brannsikringstiltak for utvendig kledning

Forslag til passive brannsikringstiltak for utvendig kledning		
Tiltak	Bakgrunn	Ønsket effekt
Økt tykkelse av trebord	Generell brannmotstand	Økt gjennombrenningstid
Horisontale brannstopp [11]	Brannfeltoppdeling i hulrom / Sikring av tilslutninger	Hindre brannsmitte i/til hulrom
Brannimpregnering / Brannhemmende maling [39]	Generell brannmotstand	Hindre brannsmitte

3.2 Takfot

Overgangen mellom tak og yttervegg er ofte representert av et takutstikk. Utførelsen av takutstikk varierer med bakgrunn i flere faktorer, blant annet valg av taktype, men kan også variere mellom husets ulike yttervegger. Begrepet takfot er illustrert i figur 3.3.

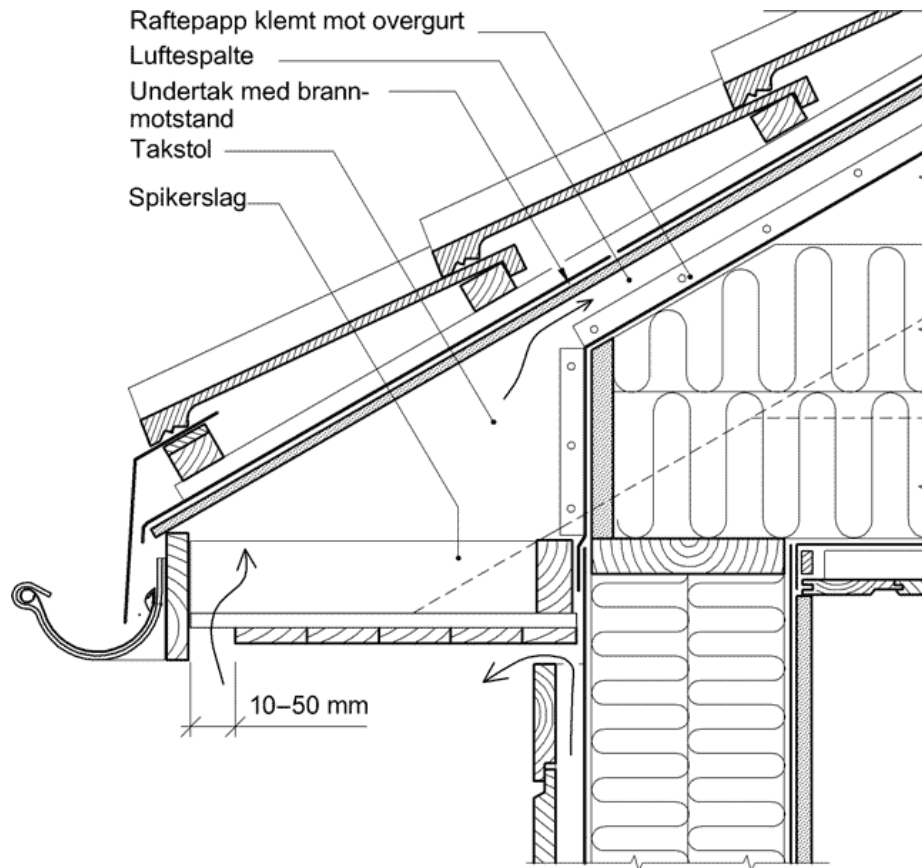


Figur 3.3 Saltak, gavlvegg, langvegg og takfot. Utklipp fra original kilde. Modifiseringer: Rød merking og tekst. Illustrasjon: Byggforskserien 725.012, figur 21, SINTEF Byggforsk

3.2.1 Branntekniske utfordringer

Brennbare utstikk i fasaden, for eksempel takfot, er særlig utsatt for akkumulering av varme røykgasser på undersiden. Dette kan føre til rask horisontal brannspredning [24].

Utførelsen av takfoten varierer, og ulike variasjoner har ulik grad av risiko for brannspredning til loft- og takkonstruksjon i tilfellet brann. Takfoten blir ofte utført med et underbygg kalt *raftekasse*. I de tilfeller der taket er uisolert, og der takfoten blir utformet med lufteanretninger på undersiden, er risiko for brannspredning fra en eventuell fasadebrann særlig høy. Takfoten representerer da en svakhet i brannskallet [40] [41] [13]. Prinsippskisse for uisolert takfot med underluftet raftekasse er illustrert i figur 3.4.



Figur 3.4 Detalj av takfot med delvis underkledning og lufting. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 525.106, figur 65 b, SINTEF Byggforsk

3.2.2 Passive brannsikringstiltak

Forslag til passive brannsikringstiltak for takfot er presentert i tabell 3.2.

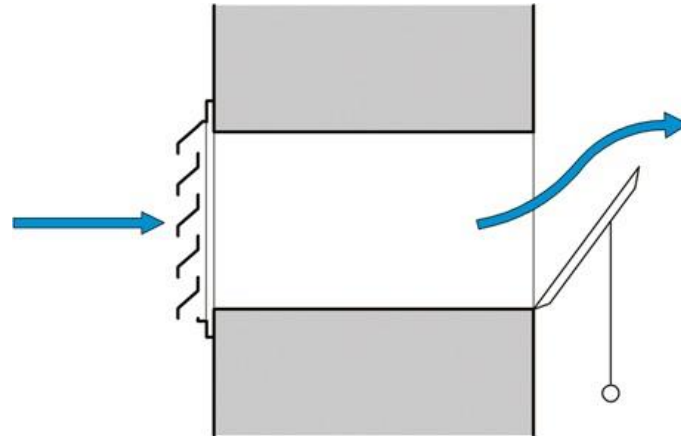
Tabell 3.2 Forslag til passive brannsikringstiltak for takfot

Forslag til passive brannsikringstiltak for takfot		
Tiltak	Bakgrunn	Ønsket effekt
Brannklassifiserte takfotventiler [39]	Trygg ventilasjon	Lukke ventilasjonsåpninger ved brannpåkjenning / Blokkere gnister
Forsterke underkledning [39]	Generell brannmotstand	Økt gjennombrenningstid

3.3 Friskluftsventiler

Åpninger i brannskallet kommer ofte som følge av ventilasjonsløsninger. Som nevnt i kapittel 3.1 og 3.2 eksisterer det løsninger med åpninger i kledning og takfot for å sikre ventilasjon av bygningsdeler. For å sikre et godt inn klima i bygg er det også nødvendig å ventilere den øvrige bygningsmassen.

Vanlige friskluftsventiler består av en enkel kanal mellom utsiden og innsiden av bygget. På utsiden er det ofte en skjermet rist som skjuler kanalen, mens på innsiden er det gjerne en klafflukeventil [42], se figur 3.5.



Figur 3.5 Friskluftventil. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 536.215, figur 22, SINTEF Byggforsk

3.3.1 Branntekniske utfordringer

Lufteventiler og –åpninger er typisk tørre områder med god lufting. Ved mangelfullt vedlikehold og rengjøring er det en risiko for oppsamling av rusk i luftekanalene, som lett kan antenne ved brannbelastning. Slike åpninger og kanaler vil være sårbare for gnister, flammekast og stråling [7].

3.3.2 Passive brannsikringstiltak

Forslag til passive brannsikringstiltak for friskluftsventiler er presentert i tabell 3.3.

Tabell 3.3 Forslag til passive brannsikringstiltak for friskluftsventiler

Forslag til passive brannsikringstiltak for åpninger		
Tiltak	Bakgrunn	Ønsket effekt
Lufteventiler / Løsninger med brannmotstand [11]	Trygg ventilasjon	Forhindre brannsmitte

4 Metode

Bachelorprosjektet er i hovedsak basert på brannforsøk og resultatene fra disse, etter ønske fra oppdragsgiver om fullskalatester av brannskallelementer med hensyn på gjennombrenningstid. Det er ikke funnet tidligere arbeid/forskning som fullskalatester brannskallelementer med lignende metode.

Konkrete forslag til brannforsøk fra oppdragsgiver ble forelagt studentene 9. februar 2017. Disse ble diskutert og endret i samråd mellom studentene, oppdragsgiver, sponsorer og veileder. Utvelgelse og avgrensning av brannskallelementer ble gjort av oppdragsgiver, mens metoden ble bestemt i samhandling mellom studentene, snekkerne og veilederne.

For at alle involverte parter skulle kunne få et faglig utbytte av brannforsøkene og være til stede under testene, ble det på et tidlig tidspunkt avklart og satt av to dager til gjennomføring. Forsøkene ble lagt til ResQ Haugesund 13. og 14. mars 2017, og ble i stor grad basert på passive brannsikringstiltak fra forprosjektet – Grip stavkirke. Alle passive brannsikringsprodukter ble levert av Securo.

Brannscenarioet for testene ble valgt til å simulere en rombrann med brannspredning ut av et vindu og opp langs fasaden. Dette er et brannscenario som anses å gi den verst tenkelige brannbelastningen på elementer i overkant av et vindu. Det er valgt å sammenligne temperaturutviklingen i brennkammeret med ISO 834 for å kunne validere temperaturutviklingen ved en bygningsbrann/rombrann. Det er viktig å påpeke at dette kun representerer brannutviklingen i brennkammeret, ikke temperaturbelastningen på testelementene. Det er i tillegg valgt å sammenligne energiproduksjonen i brennkammeret med SP Fire 105 med tanke på videre arbeid.

I tillegg til brannforsøk er det utført et mindre litteraturstudium rundt andre passive brannsikringstiltak som ikke dekkes av testene. For å begrense omfanget av bachelorprosjektet ble det vurdert for omfattende å diskutere problematikk og løsninger rundt andre brannskallelementer enn de oppgaven avgrenser seg til.

4.1 Diskusjon rundt valgt metode

Valget av brannscenario ble gjort med tanke på brannskall generelt, ikke spesifikt mot Grip. Resultatene må ses i lys av dette, da det valgte brannscenarioet lite trolig er det verste sannsynlige brannscenarioet for Grip. Det kan også være andre forhold ved Grip som reelt sett gir en lengre gjennombrenningstid enn hva som framkommer av resultatene fra brannforsøkene.

Dimensjonene på brannforsøkene dikterte at disse måtte gjennomføres utendørs, med de utfordringer og feilkilder dette ville gi. Sett i sammenheng med at testene ble utført på bestemte dager må resultatene ses i lys av rådende værforhold. Testing innendørs ville i større grad ha gitt reproducerbare resultater, samtidig som at det ville ha gitt en mer uniform brannpåkjenning på de ulike testelementene. Det blir ved valgt metode viktig å analysere brannbelastningen på testelementene, og se resultatene i sammenheng med dette.

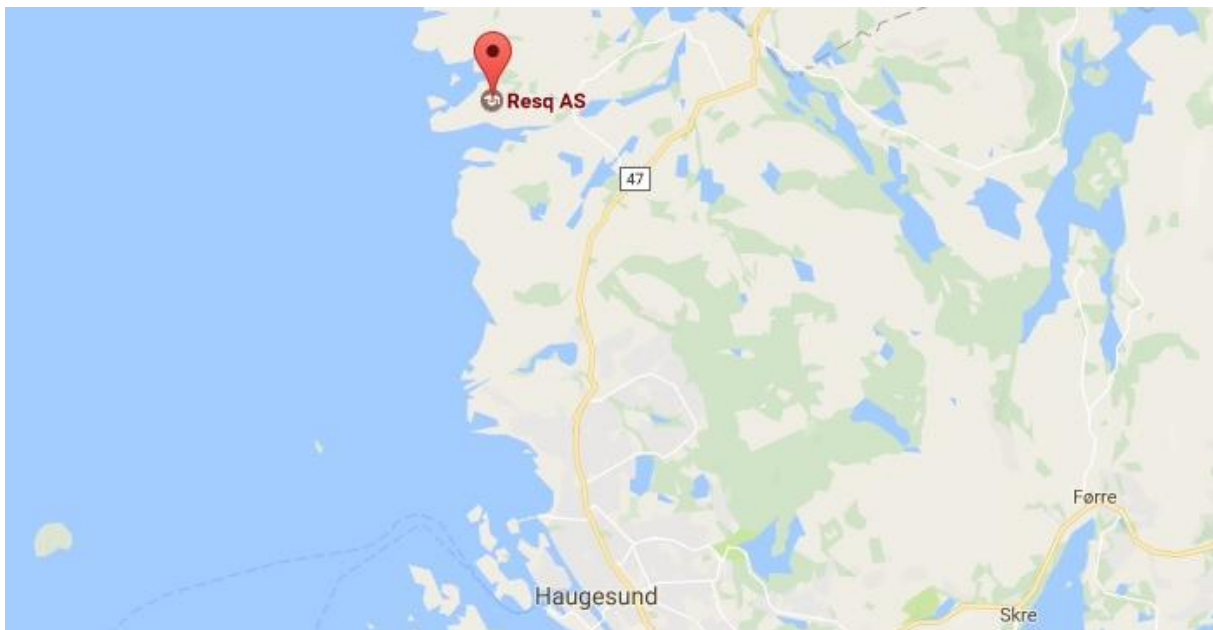
Forholdene kan likevel anses å være realistiske, ettersom brannskallet representerer det ytre materialsjiktet av et bygg. Brannforsøk innendørs vil gi et relativt urealistisk scenario med lite eller ingen vind og vindkast. I en reell situasjon vil brannskallelementene være utendørs, og det er nettopp det som testes i valgt metode.

Størrelsen på testriggene og viktigheten av nøyaktig snekkerarbeid førte til at det ble for kostbart å gjennomføre testserier av testelementene. Dette har hindret læring med tanke på instrumentering og feilkonstruksjon i forhold til uønsket brannsmitte. Resultatene må derfor behandles med nøye vurdering rundt hvilke faktorer som er avgjørende.

Oppgaven er avgrenset til å se på, og teste, noen få brannskallelementer. Det ville ha vært interessant å gjøre et litteraturstudium rundt resterende brannskallelementer for å kunne gjøre en vurdering rundt et komplett brannskall. Det ble konkludert med at dette ville øke oppgavens omfang og arbeidsmengde betydelig.

4.2 ResQ

ResQ er et firma som blant annet driver med opplæring innen sikkerhet og beredskap [43]. Alle praktiske forsøk i forbindelse med bacheloroppgaven ble utført ved ResQ Haugesund, se figur 4.1.



Figur 4.1 ResQ Haugesund. Kilde: ©Google

Senteret har to områder tilrettelagt for branntesting, øvre og nedre brannfelt, se figur 4.2.



Figur 4.2 ResQ Haugesund – Øvre og nedre brannfelt. Kilde: ©Google

4.2.1 Standplass

Forsøkene ble utført ved øvre brannfelt. Her er det et underlag av betong, og det er god tilgang på både slokkevann og brensel. Tildelt område for testing som vist på figur 4.3.



Figur 4.3 ResQ Haugesund – Standplass. Kilde: ©Google

4.3 Securo

Securo er et firma som driver innen produksjon og salg av lufterventiler med passiv brannmotstand. Ventilene er designet for å sikre brannsikker ventilasjon, både av hulrom og av øvrig bygningsmasse, og bygger på den patenterte FireBreather-teknologien [44].

4.3.1 FireBreather (FB)

FireBreather (FB) er et konsept utviklet og patentert av Securo. Teknologien muliggjør brannsikker ventilering ved å umiddelbart forhindre gjennomtrengning av flammer, varme og gnister. Konseptet bygger på en kombinasjon av ulike prinsipper som i seg selv virker utilfredsstillende, men som sammen kan forhindre brannspredning i flere timer avhengig av dimensjonering [45].

4.3.2 Stål

I flere av Securo sine produkter benyttes det en plate, netting eller ståltråd av rustfritt stål type AISI304. Nettingen og platen har typisk tykkelse 0,56 mm og maskevidde 2 mm. Ståltråden har tykkelse 0,3 mm og kan bindes sammen til en fleksibel netting med maskevidde 2 mm. Hensikten med maskene er å hindre gjennomtrengning av flammer og gnister [46] [47] [48].

4.3.3 Intumescentmasse

Securo benytter en intumescentmasse kalt *Therm-A-Flex*, levert av *Intumescent Seals*, i sine produkter. *Therm-A-Flex* er basert på ekspanderende grafitt bundet sammen av et spesielt bindemiddel for å gjøre materialet fleksibelt [49]. Intumescentmassen leveres også i form av bånd for montering i skjøter/sprekker o.l.

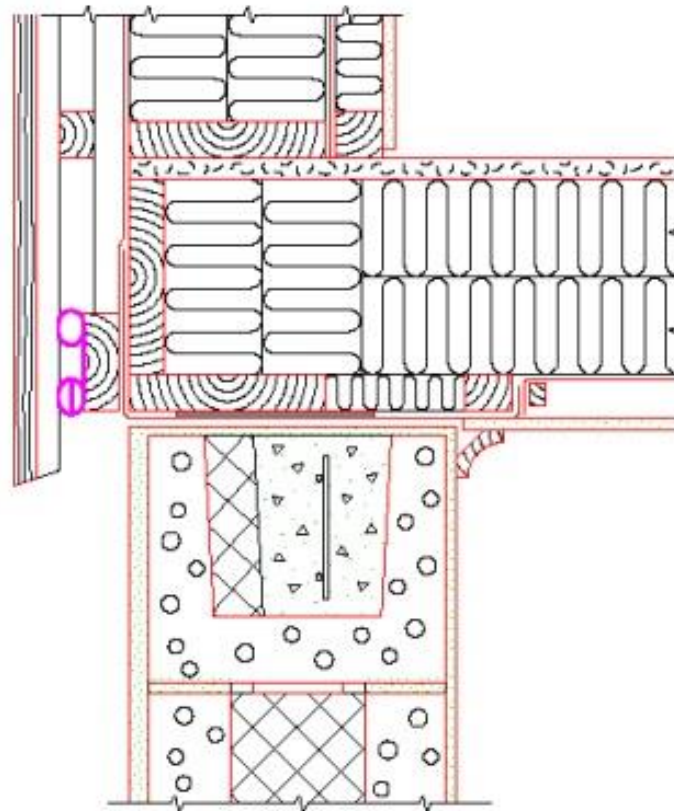
4.3.4 FB Hulromsventil

FB Hulromsventil er en lufterventil med passiv brannmotstand designet for å sikre trygg ventilasjon av hulrom bak kledning (se tabell 3.1). Ventilen består av en stålnetting (se kapittel 4.3.2) rullet til to hylser. I den ene hylsen legges et bånd av intumescentmasse (se kapittel 4.3.3), se bilde 4.1 [50].



Bilde 4.1 FB Hulromsventil. Gjengitt med tillatelse. Kilde: Securo

Når ventilen monteres er det blant annet viktig at hylsen med intumescentbånd monteres ytterst, at den fyller hulrommets bredde og at intumescentbåndet ligger parallelt med monteringsoverflaten [47]. Prinsippskisse for montering er vist i figur 4.4.



Figur 4.4 FB Hulromsventil – Montering i utelettet vertikal kledning. Hulromsventil markert med lilla farge. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Securo

4.3.5 FB Miniventil

FB Miniventil er en luftenventil med passiv brannmotstand. Ventilen består av ståltråd bundet sammen til en fleksibel netting (se kapittel 4.3.2), som så rulles sammen til en enkelt eller dobbel hylse. På grunn av sin fleksibilitet kan ventilen benyttes til å tette mindre sprekker og utettheter, f.eks. i en takfot. Ventilen kombineres ofte med bånd av intumescentmasse (se kapittel 4.3.3) [48]. FB Miniventil er presentert i bilde 4.2.



Bilde 4.2 FB Miniventil. Gjengitt med tillatelse. Kilde: Securo

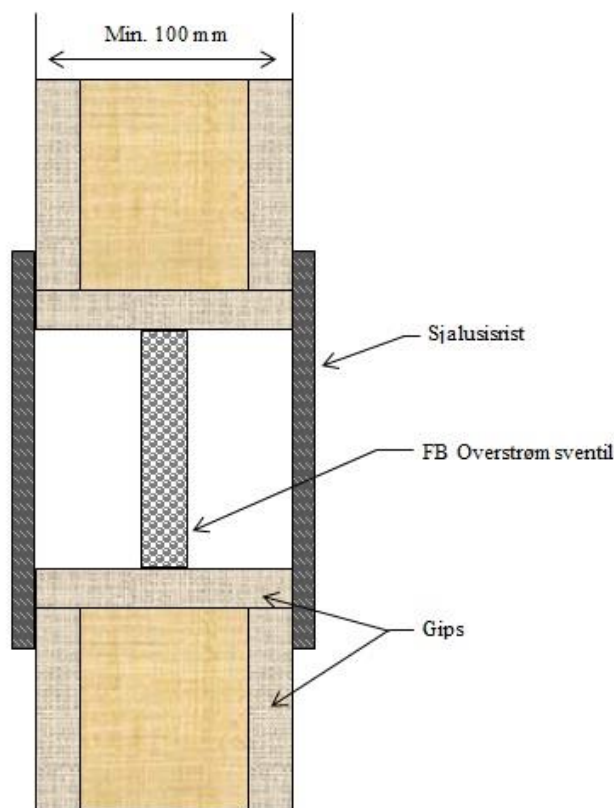
4.3.6 FB Overstrømsventil

FB Overstrømsventil er en lufteventil med passiv brannmotstand designet for å sikre trygg ventilasjon av bygg (se tabell 3.3). Ventilen består av en ramme/plate av perforert stål (se kapittel 4.3.2) fylt med bånd av intumescentmasse (se kapittel 4.3.3) [51]. For å være en godkjent løsning må det monteres en stålrister over utvendig ende av luftekanal, samt klaffventil eller stålrister over innvendig ende, se bilde 4.3.



Bilde 4.3 FB Overstrømsventil med klaffventil. Gjengitt med tillatelse. Kilde: Securo

Securo benytter blant annet klaffventiler og stålrister levert av Flexit. [52]. Prinsippskisse for montering vist i figur 4.5.



Figur 4.5 FB Overstrømsventil – Montering i vegg. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Securo

4.4 Grip stavkirke

Dette kapittelet gjør rede for løsninger ved Grip stavkirke (se kapittel 1.4). Det er kun sett på de løsninger som oppgaven er avgrenset til – tømmermannskledning, takfot og ventilasjonsåpninger.

4.4.1 Tømmermannskledning

Grip stavkirke er kledd med tømmermannskledning. Kledningen er ikke lektet ut etter dagens standard, men montert direkte på bakenforliggende konstruksjon. Dette medfører at kledningen i praksis ikke er luftet, men det vil likevel være et naturlig luftrom bak overliggerne. Kledningens nedre del hviler på et vannbord, og kledningens øvre del hviler mot underkledning i takfot [6] [53] [54].

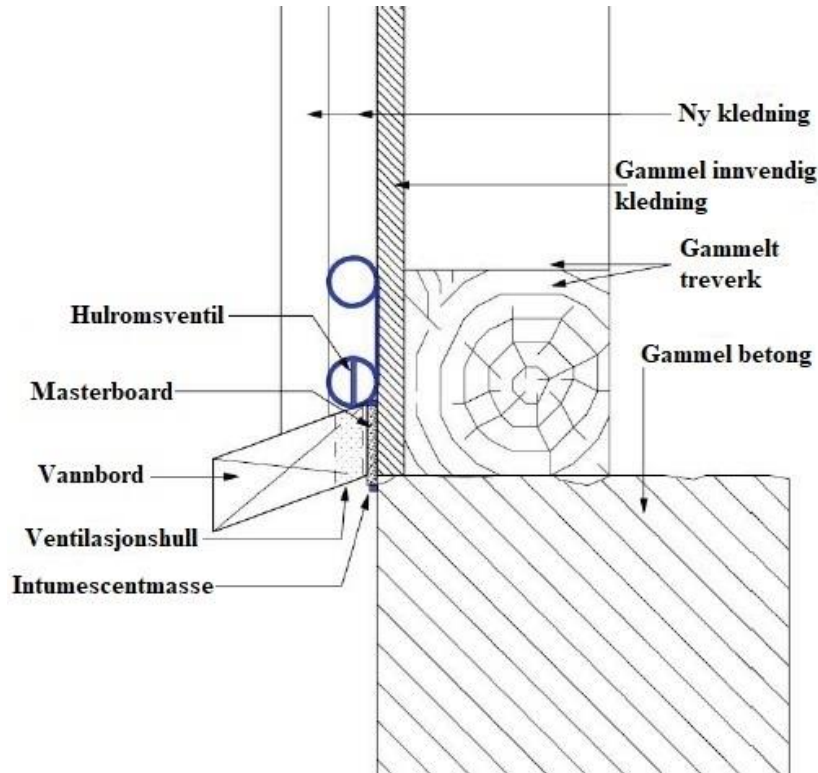
Spikerne benyttet ved Grip er gammeldagse klipptspiker. Disse er tykkere og lengre enn vanlige spiker. I tillegg er de ubehandlet, noe som gjør at de raskt kan ruste i et kystklima der det er mye salt i luften. På Grip har dette ført til at spikerne ruster fast i spikerfestene. Spikerne har en lengde på omtrent 120 mm, noe som gir overliggeren på Grip et spikerfeste på 50 mm i bakenforliggende konstruksjon [55].

Grip før

Før den branntekniske utbedringen av Grip var vannbordet på undersiden av kledningen tett. I og med at kledningen ble ført direkte opp til underkledningen i takfoten resulterte dette i at luftrommet bak overligger ikke ble ventileret. Kledningens tykkelse varierte mellom 27-30 mm [6] [53] [54].

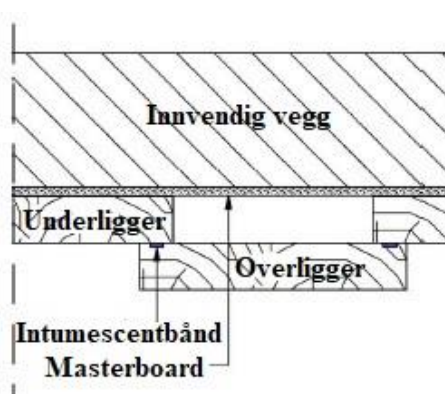
Grip etter

Etter den branntekniske utbedringen av Grip var det blitt boret hull i vannbordet for å skape friksluftstilgang til luftrommet bak overligger. Det ble boret to hull med diameter 12 mm per overligger. For å oppnå brann sikker ventilasjon ble det installert FB Hulromsventil (se kapittel 4.3.4) mellom samtlige underliggere, i overkant av de to ventilasjonshullene, se figur 4.6.



Figur 4.6 Grip stavkirke – Lufting av hulrom bak overligger. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6]

I tillegg ble samtlige gamle trebord erstattet av trebord med tykkelse 35 mm, og det ble montert bånd av intumescentmasse i omleggene, se figur 4.7. Omleggene ble utført med minimum 25 mm bredde [6] [55].



Figur 4.7 Grip stavkirke – Bruk av intumescentbånd i omlegg. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6]

Ved enkelte vegger som ble ansett for særlig utsatt ved en eventuell brann ble det montert brannbeskyttende vindsperre, Masterboard, på bakenforliggende konstruksjon [6].

4.4.2 Takfot

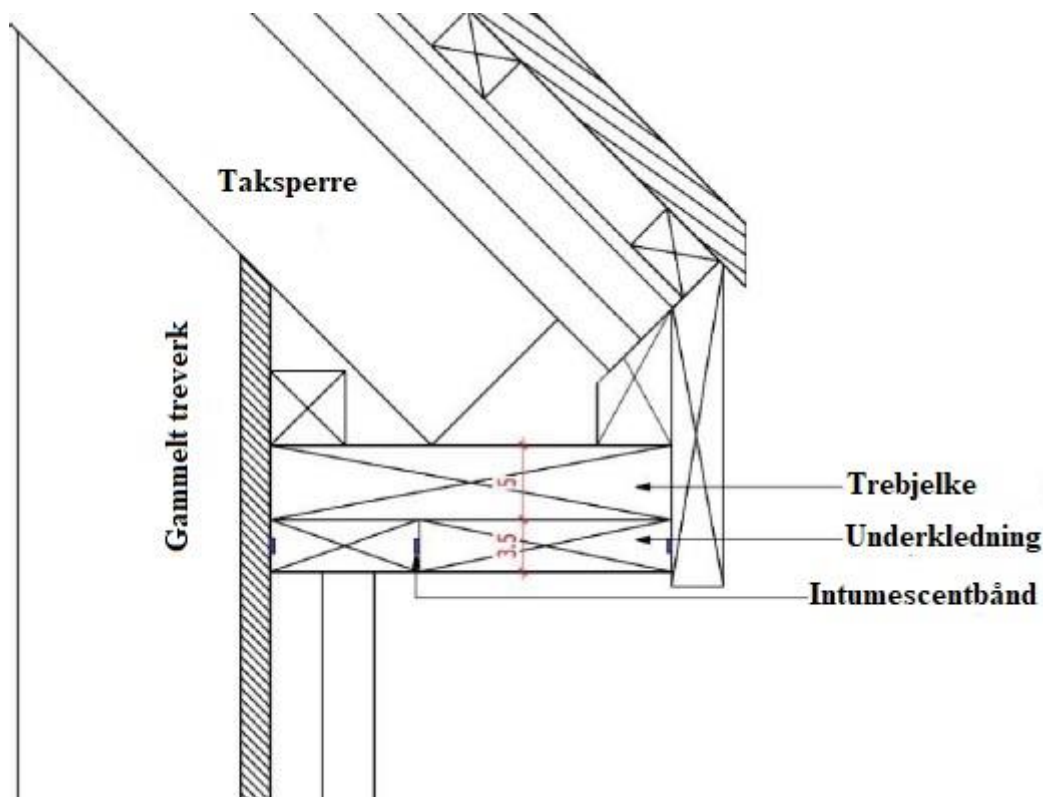
Takfoten på Grip er utformet med *forkantbord* og underkledd med trebord som en slags raftekasse, men denne er ikke utført med hensyn på lufting av loft/undertak.

Grip før

Før den branntekniske utbedringen av Grip bestod underkledningen i raftekassen av parallelle trebord, uten hensyn til tetting av skjøter/sprekker. Tykkelsen på underkledningen og forkantbordet varierte omkring 21-25 mm [54] [55].

Grip etter

Etter den branntekniske utbedringen av Grip var underkledningen og forkantbordet forsterket (se tabell 3.2) med trebjelker av tykkelse 50 mm. Underkledningen og forkantbordet ble i tillegg erstattet av 35 mm tykke trebord, og intumescentbånd ble montert i skjøter. Se prinsippskisse for ny løsning i figur 4.8 [6].



Figur 4.8 Grip stavkirke – Ny løsning for takfot. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6]

4.4.3 Ventilasjonsåpninger

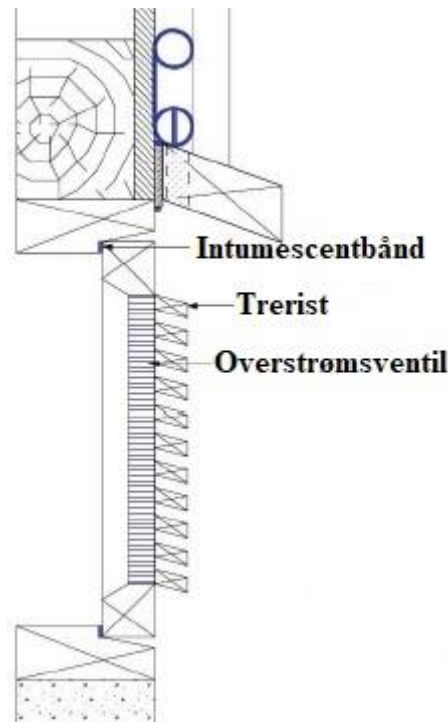
Ved Grip er det fem mindre ventilasjonsåpninger (omtrent 150 mm x 150 mm) i grunnmuren i tillegg til én større åpning (omtrent 500 mm x 500 mm) [54].

Grip før

Før de branntekniske utbedringene var de små ventilasjonsåpningene i grunnmuren helt åpen, uten rist. Den store åpningen var beskyttet av en treluke med rister [54].

Grip etter

Etter den branntekniske utbedringen av Grip var alle ventilasjonsåpninger utstyrt med FB Overstrømsventil [6]. Ny løsning for stor luke i grunnmur er illustrert i figur 4.9.



Figur 4.9 Grip stavkirke – Ventilasjonsåpning i grunnmur. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6]

4.5 Testoppsett

For å oppnå en tilnærmet lik brannbelastning ved alle testene ble det bygget et brennkammer, noe som muliggjorde repetisjon av brannscenario. Det ble videre bygget fire ulike testtrigget, én til hver test. Disse ble montert på en provisorisk rammekonstruksjon på toppen av brennkammeret før hvert respektive brannforsøk.

4.5.1 Brennkammer

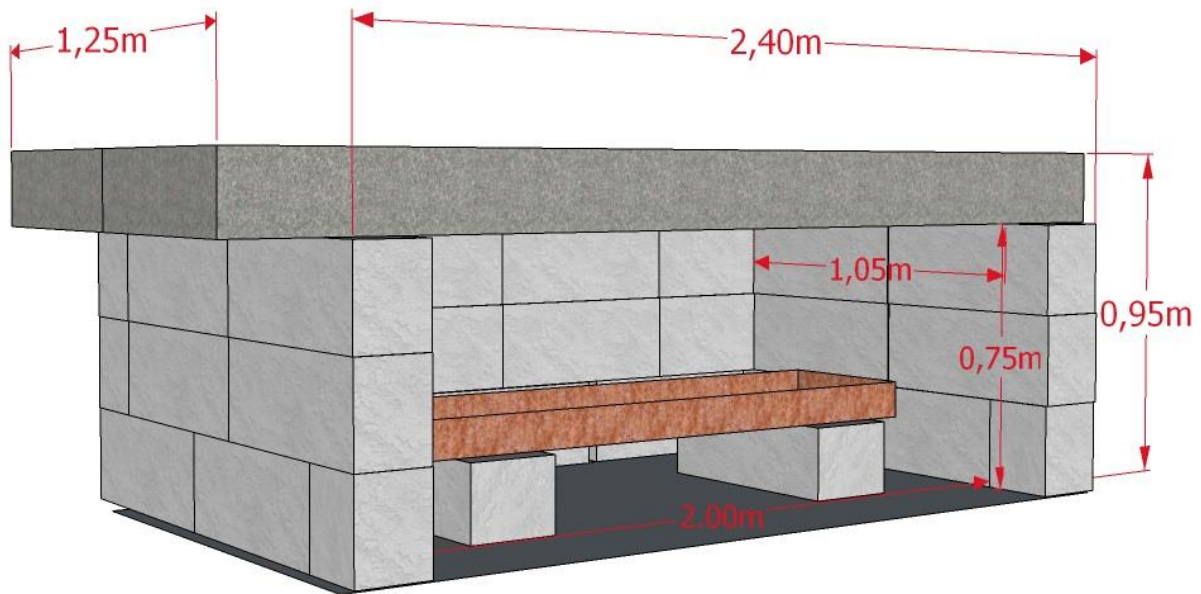
Brennkammeret ble bygget av siporex-blokker med en utforming inspirert av SP Fire 105 (se kapittel 2.4.2). Siporex-blokkene i veggene var av dimensjon 60 cm x 25 cm x 20 cm. Som tak ble det plassert to større siporex-blokker av dimensjon 278 cm x 20 cm x 62,5 cm.

Det ble lagt branngipsplater (15 mm) som innvendig gulv for å skåne betongunderlaget mot brannbelastningen, samt blikkplater foran åpningen. Tabell 4.1 viser brennkammerets dimensjoner slik det ble benyttet under forsøkene og sammenlignet mot SP Fire 105.

Tabell 4.1 Brennkammerets dimensjoner

	Brennkammer	SP Fire 105
Utvendig bredde	2,40 m	3,48 m
Utvendig høyde	0,95 m	1,30 m
Utvendig dybde	1,25 m	1,70 m
Innvendig dybde	1,05 m	1,60 m
Åpningens høyde	0,75 m	0,71 m
Åpningens bredde	2,00 m	3,00 m

Inne i brennkammeret ble det plassert et brennkar av metall. Dette ble plassert på langs med åpningen, omtrent midt på gulvflaten, og ble løftet 20 cm opp fra bakken ved hjelp av to siporex-blokker – dette for å øke tilbakestråling til brenselet og dermed øke energiproduksjon og massefluks. Karet hadde dimensjonene 1,6 m x 0,42 m x 0,10 m, som tilsvarer et areal på 0,67 m² og volum på 0,0672 m³. Brennkammer og brennkar er illustrert i figur 4.10.



Figur 4.10 Brennkammer og brennkar

Åpningen av brennkammeret, og dermed fronten av samtlige testoppsett, var vendt mot sør (se kapittel 4.2.1, figur 4.3).

For å sikre etterfylling av brensel ble det montert et stålrør i den ene sideveggen. Dette ble gjort ved å dra to blokker fra hverandre slik at det ble et tilstrekkelig stort mellomrom og deretter stikke stålrøret inn mellom blokkene. Resterende del av åpningen ble fylt med ubrennbar isolasjon. Plassering av påfyllingsrør er vist i bilde 4.4.



Bilde 4.4 Påfyllingsrør for etterfylling av brensel

For øvrig ble sprekker forsøkt tettet så godt som mulig ved bruk av ubrennbar isolasjon og steiner, slik at eneste åpning i brennkammeret var på framsiden. Det ble plassert en blikkplate på baksiden for hindre mulige flammekast mot utstyr og personell via uønskede sprekker. Det ble også plassert en blikkplate på framsiden for å skåne betongen.

4.5.2 Brensel

Det ble benyttet parafin som brensel i alle forsøkene. For at parafinen skulle antenne ble det brukt omtrentlig én liter bensin til forvarming. Karet ble også fylt med omtrent 20 liter vann for å isolere brenselet fra karet og for å kontrollere massefluksen.

4.5.3 Måleutstyr

Måleinstrumentene som ble benyttet under branntestene hadde som formål å dokumentere temperaturen i brennkammeret og temperaturpåkjenningen på de ulike testelementene.

Det ble benyttet to termoelementer i brennkammeret under alle forsøkene for å måle temperaturene inne i brennkammeret. Termoelementene ble stukket inn i bakkant av brennkammeret og plassert i takhøyde i senter. Det ble i tillegg montert et varierende antall termoelementer på de ulike testoppsettene.

Termoelementer

Under forsøkene ble det benyttet termoelementer av type K, se bilde 4.5. Disse består av en fremre del av metall som er temperatursensitiv, samt en bakre del som kobles til en datalogger som registrer og lagrer temperaturmålinger ved et ønsket tidsintervall. Elementene benyttes typisk til temperaturmålinger i forbindelse med brannforsøk, da det kan forventes høye temperaturer. Type K kan anvendes i temperaturområdet fra -200 til $+1350$ °C [56].



Bilde 4.5 Termoelement type K

Datalogger

Dataloggeren som ble benyttet under forsøkene var av typen KEYSIGHT 34972A, se bilde 4.6. Denne ble koblet til en bærbar pc. Loggeren dokumenterte målinger fra termoelementene via softwareprogrammet BrannDatalog 6.



Bilde 4.6 Datalogger

Vindmåler

For å måle vindhastighet og omgivelsestemperatur ble det benyttet en vindmåler av typen TSI VelociCalc Plus, se bilde 4.7. Måleren kan registrere vindhastigheter opp mot 50 m/s samt temperaturer i området -10 til $+60$ °C [57].



Bilde 4.7 Vindmåler

4.5.4 Testelementer

De ulike testelementene ble fordelt på fire ulike testtrigger avhengig av testens formål. Snekkerarbeidet ble utført av tømmerne Rolf Lervik og Petur Lars i Puntabyrgi for å kunne gjengi løsningene fra Grip stavkirke (se kapittel 1.4 og 4.4). Alt annet snekkerarbeid, som montering av rammekonstruksjon på toppen av brennkammer, ble også utført av Lervik og Puntabyrgi.

Detaljer rundt testelementene er beskrevet i respektive kapittel under kapittel 5.

4.5.5 Tester

Det ble utført fire forskjellige tester. På grunn av at disse bare ble gjennomført én enkelt gang hver, og fordi de ulike testene hadde ulike oppsett og løsninger, er det valgt å redegjøre for disse i detalj i kapittel 5. En oversikt over testene er presentert i tabell 4.2.

Tabell 4.2 Oversikt over gjennomførte tester

	Tittel	Antall testelementer
Test 1	Gjennombrenningstid kledning	3
Test 2	Gjennombrenningstid takfot	2
Test 3	Gjennombrenningstid tilslutninger	4
Test 4	Gjennombrenningstid åpninger og ventiler	13

5 Forsøk

Dette kapitlet redegjør for utførelse og gjennomføring av utførte branntester, samt diskusjon rundt spesifikke resultater og feilkilder. Det er valgt å presentere testene på denne måten for å øke brukervennligheten av rapporten.

5.1 Test 1 – Gjennombrenningstid kledning

Hensikten med Test 1 var å påføre tømmermannskledning ensidig brannpåkjenning, der det ble simulert en rombrann med brannspredning ut av vindu. Målet med testen var å se om økt tykkelse på trebord (se tabell 3.1) ville ha noe å si for gjennombrenningstid, samt om bruk av intumescentbånd i omlegg ville gi økt sikkerhet. Det ble valgt å ikke ta hensyn til hulrom eller bakenforliggende konstruksjon for å få visuelle observasjoner av gjennombrenning.

5.1.1 Testrigg og –elementer

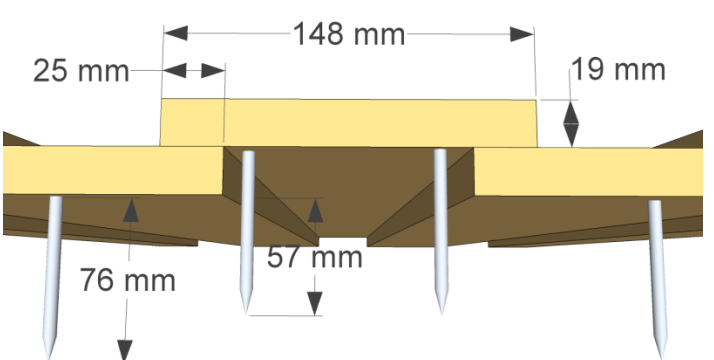
Test 1 ble konstruert på en rigg med høyde 1,2 m og bredde 2,4 m. Testriggen ble delt i tre seksjoner á 0,80 m bredde ved bruk av branngipsplater (15 mm). I hver seksjon ble det konstruert et testelement:

- A – Tømmermannskledning, «vanlig» utførelse (se kapittel 3.1)
- B – Tømmermannskledning, «Grip etter» (se kapittel 4.4.1)
- C – Tømmermannskledning, «Grip før» (se kapittel 4.4.1)

På baksiden av riggen ble det montert en branngipsplate mellom A og B, da det ble forventet rask gjennombrenning i A. I tillegg ble det montert gipsplater på yttersidene og på oversiden av riggen for å hindre uønsket flammespredning. Elementenes spesifikasjoner er presentert i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Test 1 – Spesifikasjoner

Kledningens spesifikasjoner		Snitt, horisontalt
A	Plankenes tykkelse	19 mm
	Plankenes bredde	148 mm
	Plankenes høyde	1200 mm
	Omlegg	25 mm
	Spikerfeste overligger	57 mm
	Spikerfeste underligger	76 mm
	Brannvern-tiltak	Ingen



Kledningens spesifikasjoner		Snitt, horisontalt	
B	Plankenes tykkelse	35 mm	
	Plankenes bredde	148 mm	
	Plankenes høyde	1200 mm	
	Omlegg	25 mm	
	Spikerfeste overligger	25 mm	
	Spikerfeste underligger	60 mm	
	Brannvern-tiltak	Intumescentbånd (10 mm bredde) i omlegg	
C	Plankenes tykkelse	35 mm	
	Plankenes bredde	148 mm	
	Plankenes høyde	1200 mm	
	Omlegg	25 mm	
	Spikerfeste overligger	25 mm	
	Spikerfeste underligger	60 mm	
	Brannvern-tiltak	Ingen	

Det ble, ved hjelp av kjetting, festet termoelementer på framsiden av testelementene. På baksiden ble termoelementer montert nederst i midten av hvert testelement da det ble forventet gjennombrenning her. Plassering av termoelementer blir forklart og illustrert ved hjelp tabell 5.2 og bilde 5.1.

Tabell 5.2 Test 1 – Plassering av termoelementer

	Termoelement	Høyde over brennkar [m]	Merknad
A	1	0,95	Foran, 8 cm ut fra kledning
	4		Bak, nederst bak midtre overligger
B	2	0,95	Foran, 8 cm ut fra kledning
	5		Bak, nederst bak midtre overligger
C	3	0,95	Foran, 8 cm ut fra kledning
	6		Bak, nederst bak midtre overligger



Bilde 5.1 Test 1 – Plassering av termoelementer

5.1.2 Værforhold

Det ble jevnlig målt vind. Værforhold for Test 1 er presentert i tabell 5.3.

Tabell 5.3 Test 1 – Værforhold

Vind	Svak vind – variabel rundt 3 m/s fra sørvest
Temperatur	6 °C
Forhold	Overskyet

5.1.3 Brenselforbruk

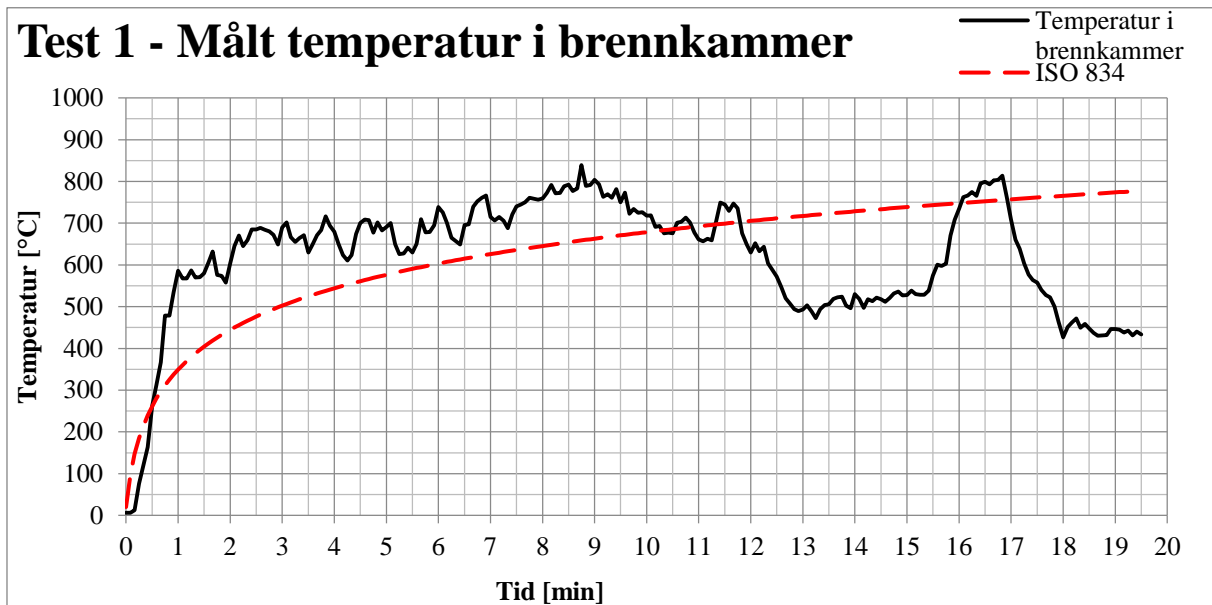
Forbruk av parafin ved Test 1 er presentert i tabell 5.4.

Tabell 5.4 Test 1 – Brenselforbruk

Tid	Antall liter parafin	Merknad
00:00	40	Brannstart
14:20	10	Påfylling
15:55	10	Påfylling
Totalt forbruk:	60	

5.1.4 Brannutvikling

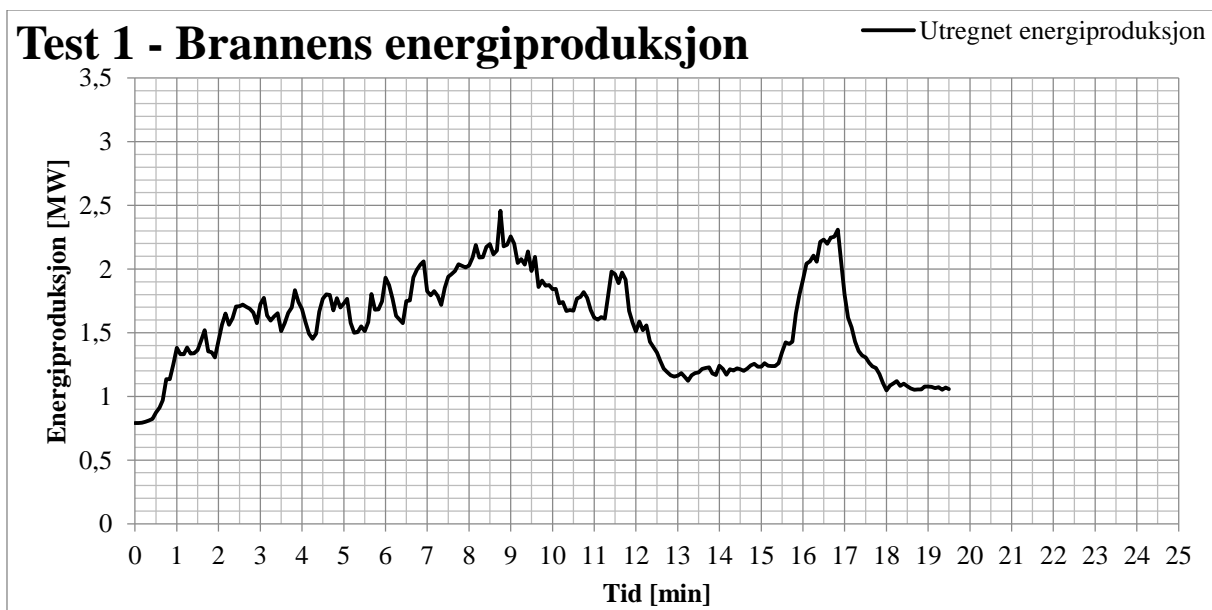
Temperaturutviklingen i brennkammeret ved Test 1 er grafisk framstilt i figur 5.1. Her blir den også sammenlignet med ISO 834 (se kapittel 2.4.1). Sammenligningen mot ISO 834 gjøres for å kunne vurdere brannens validitet som en rombrann, og er ikke medtatt for å vise brannpåkjenning av testelementene. Generelle kommentarer til brannutvikling er vedlagt i *Vedlegg A: Kommentarer til brannutvikling*.



Figur 5.1 Test 1 – Målt temperatur i brennkammer

5.1.5 Brannens energiproduksjon

Brannens energiproduksjon blir beregnet ut fra formler beskrevet i kapittel 2.3 og framstilt grafisk i figur 5.2. Forklaring til utregning av energiproduksjon er vedlagt i *Vedlegg B: Utregning av energiproduksjon og sensitivitetsanalyse*. Det er valgt å presentere tidsaksen fram til 25 minutter for bedre sammenligning mot SP Fire 105, se figur 2.4.



Figur 5.2 Test 1 – Utregnet energiproduksjon

5.1.6 Observasjoner

Relevante observasjoner fra Test 1 er framstilt i tabell 5.5. Disse baseres på både videooptak og notater fra observatører.

Tabell 5.5 Test 1 – Observasjoner

Tid	Observasjon	Bilde
1 min	B: Begrenset sotdannelse	
2 min	B: Ytterligere sotdannelse	
4 min	Røyk observeres sporadisk gjennom kledninger på både A og B	
5 min 30 sek	Synlige flammer både A og C (vises ikke på bildet) øverst på bakside	
6 min	Flammer observert øverst på bakside av B	
7 min 15 sek	Synlige flammer nede ved A, samt oppe ved B	

Tid	Observasjon	Bilde
8 min	Synlige glør i omleggene på testelement A	
9 min 45 sek	A: En overligger faller av. Flammer i topp av B	
13 min	A: Total kollaps – Siste planke faller	
16 min 30 sek	B: Overligger løsner slik at intumescentbånd blir synlig	
19 min 30 sek	Generelt: Slukking iverksettes da brannspredning umuliggjør observasjon av gjennombrenning i trebordene ved ensidig brannpåkjenning. Bildet viser situasjonen like før slukking	

5.1.7 Observasjoner av gjenværende materiale

Relevante observasjoner av gjenværende materiale fra Test 1 er framstilt i tabell 5.6.

Tabell 5.6 Test 1 – Gjenværende materiale

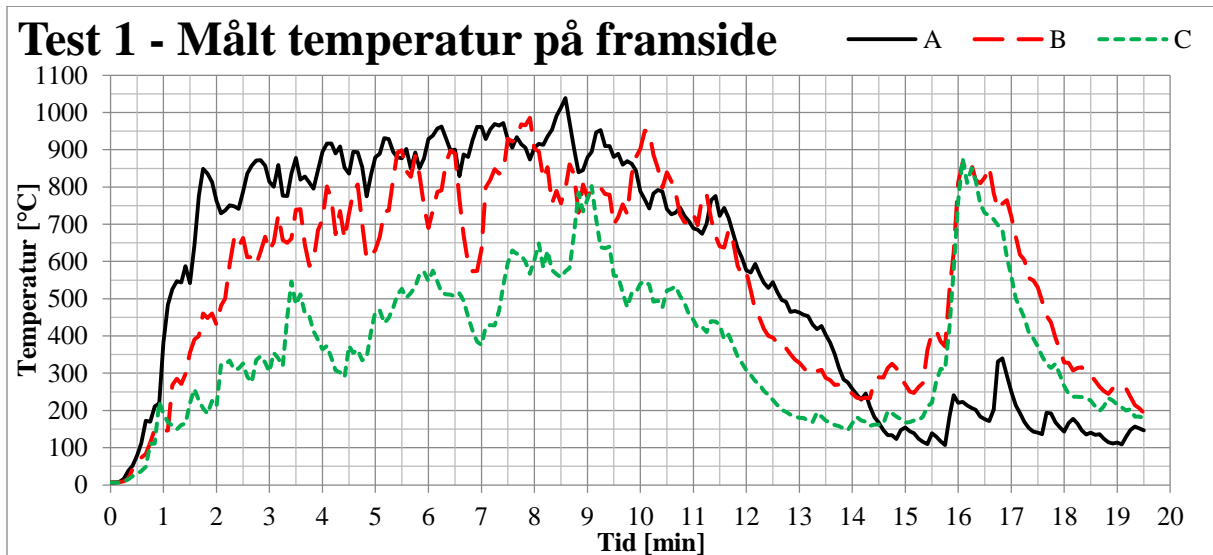
Observasjon	Bilde
Framsida rett etter slukking. Ingen gjenværende materialer fra testelement A	

Observasjon	Bilde
<p>Bakside rett etter slokking. Soting og forkulling øverst på C og B, samt nedover omlegg</p>	
<p>En overligger ved B har løsnet fra spikerfestene og tipper framover (venstre). Gjennombrenning i omlegg ved C (midten)</p>	
<p>Gjennombrenning i omlegg, nederst på C. Ved B kan ekspandert intumescentbånd observeres i omlegg</p>	
<p>Horisontalt snitt av B, omtrent midt på vegg (60 cm). Ca. 20 mm friskt treverk igjen. Bredde av omlegg ikke registrert, men av observasjon går det fram at det er langt mindre enn 20 mm</p>	

Observasjon	Bilde
<p>Horisontalt snitt av C, omtrent midt på veggen (60 cm). Ca. 26 mm friskt treverk igjen. Bredden av omlegg ikke registrert, men av observasjon går det fram at det er langt mindre enn 26 mm</p>	

5.1.8 Målt brannbelastning på testelementer

Det ble observert at vinden skapte en klar overvekt av flammer på testelement A. Dette kommer tydelig fram gjennom å se på de registrerte temperaturene ved termoelementene nederst på framsiden av testoppsettet. Disse temperaturene er grafisk framstilt i figur 5.3.



Figur 5.3 Test 1 – Målt temperatur på framside av testoppsett

Tabell 5.7 viser gjennomsnittlig temperatur målt i tidsrommet der brannen betraktes å være fullt utviklet og før A går i oppløsning, 100-700 sekunder.

Tabell 5.7 Test 1 – Gjennomsnitt målt temperatur i fullt utviklet brann

Testelement	Gjennomsnittlig målt temperatur [°C] (100-700 s)
A	855
B	708
C	452

5.1.9 Tid til gjennombrenning

Målet med testen blir ikke innfridd da brannspredning forårsaker tosidig brannpåkjenning, og det oppnås dermed ikke tid til gjennombrenning sett i sammenheng med dette. Tidene som presenteres brukes til sammenligning mellom testelementene, og må ikke ansees som en klassifisering av løsningen.

Tabell 5.8 oppsummerer tid til gjennombrenning, samt informasjon om forkulling ved forsøket

Tabell 5.8 Test 1 – Gjennombrenning og forkulling

	Tid til gjennombrenning	Forkullingsdybde [mm]	Gjennomsnittlig forkullingshastighet [mm/min]	Gjennomsnittlig målt temperatur [°C]
A	5 min 30 sek	Ikke målbart		
B	6 min	15	0,79	560
C	5 min 30 sek	9	0,47	375

Som observert og dokumentert gjennom temperaturmålinger blir element B og C, på grunn av vind, eksponert ulikt.

5.1.10 Diskusjon

Det ble ved utførelsen av testrigger gjort tiltak med gipsplater for å begrense vindens påvirkning, i tillegg til å hindre uønsket flammespredning. Under testen ble det tydelig at den horisontale branngipsplaten på toppen av riggen akkumulerte varme gasser på undersiden, noe også de vertikale branngipsplatene på utsiden av riggen bidro til. Selv om dette ikke var intensjonen med testen kan det likevel anses som et reelt scenario, der den horisontale platen sammenlignes med effekten av f.eks. en takfot, mens den vertikale platen sammenlignes med et innvendig hjørne. Ansamlingen av varme gasser utsatte øvre del av testelementene for en uforutsett varmebelastning, og førte antakelig til at de øverste spikerfestene hos overliggerne løsnet. Selv om målet med testen var å se på gjennombrenning i trebord, så er dette et interessant poeng som påpeker viktigheten av å evaluere brannskallelementet som helhet og ikke materialene det består av.

Det er av figur 5.3 og tabell 5.7 klart at testelement A ble utsatt for en større belastning enn de andre testelementene, da spesielt C. Dette er uheldig med tanke på at A bestod av de svakeste materialene. Dette gjør at det er vanskelig å fastslå hvor mye bedre B og C egentlig er. Forskjellen på målt brannbelastning mellom A og B er derimot ikke av overveiende størrelse.

Det ble i byggingen av testelementene benyttet 95 mm spiker, noe som ga urealistisk forankringsdybde for samtlige testelementer. Ved A ble forankringsdybden økt fra 35 mm (se kapittel 3.1) til 57 mm for overliggerne. Hos B og C ble forankringsdybden redusert fra 50 mm (se kapittel 4.4.1) til 25 mm hos overliggerne. Spikerne hos B og C burde også ha vært lengre og tykkere for å gjenskape løsningen fra Grip. Det nevnes også at spikerne ved Grip trolig har rustet fast i spikerfestene. Dette er et aspekt av forankringen som ikke er testet, og effekten av dette blir derfor heller ikke vurdert.

Testen viser at spikerfester kan være et kritisk punkt i tettheten til kledningen. Det vurderes at konduksjon gjennom festeanordninger kanskje kan føre til at omhyllende treverk forkulles, og at plankene dermed kan «skli» ut av forankringspunktene.

Det blir i testen ikke registrert videre forskjell i ytelsen mellom testelement B og C. I en helt ny konstruksjon, slik testelementene ble bygget, er det ingen gliper/sprekker mellom overligger og underligger. Effekten av intumescentbånd blir dermed ikke tydelig. Sprekker/gliper kan forekomme over tid som følge av fuktbevegelser, dårlig vedlikehold og vær og vind.

Tidlig i testen blir det observert sotdannelse bak testelement B. Dette tillegges intumescentbåndene. Båndene utsettes ikke for uniform varmebelastning over båndenes lengde, noe som gjør at intumescentmassen vil ekspandere av variabel grad på forskjellige steder avhengig av den lokale termiske påkjenningen. Dette kan føre til dannelse av midlertidige glipper i omleggene som tillater sot og røyk å trenge inn på baksiden.

Det stilles også spørsmål til om intumescentbåndene kan bidra til økt stress rundt spikerfestene når de sveller opp, selv om dette ikke blir observert.

Det blir observert at omleggene hos B og C med 35 mm kledning blir et svakt punkt. Omleggene blir utført med bredde på 25 mm. Dette fører til at elementets brannmotstand som helhet minker med 10 mm. Bredden på omleggene bør økes i takt med økt tykkelse av trebord, selv ved bruk av intumescentbånd.

5.2 Test 2 – Gjennombrenningstid takfot

Hensikten med Test 2 var å utsette takfot for ensidig brannpåkjenning, der det ble simulert en rombrann med brannspredning ut av vindu. Målet med testen var å se om forsterkninger av konstruksjonen (se tabell 3.2) ville ha noe å si for gjennombrenningstid i takfot. Det ble i denne testen ikke tatt hensyn til åpninger i konstruksjonen, og testelementene ble derfor konstruert som ventilasjonsfrie løsninger etter utførelse fra Grip stavkirke.

5.2.1 Testrigger og –elementer

Test 2 ble konstruert på en rigg med høyde 1,2 m og bredde 2,4 m. Rigger ble kledd med to lag branngipsplater (15 mm) på framsiden. Rigger ble delt på midten, i øvre del av, med to gipsplater. På hver side av gipsplatene ble det konstruert et testelement med en omtrentlig bredde på 1,2 m:

- A: Takfot, «Grip før» (se kapittel 4.4.2)
- B: Takfot, «Grip etter» (se kapittel 4.4.2)

I underkant av testelementene ble det konstruert en vegg i hele testriggens bredde. Denne ble utført med parallelle trebord av 19 mm tykkelse og 148 mm bredde, utlektet 36 mm. Veggene ble ført opp til underkledningen av takfoten. Kledningen ble ikke utført med spesielle hensyn til verken lufting eller brannsikring. Hensikten med kledningen var å bidra med brannenergi/belastning på takfoten.

Testriggeren ble for øvrig kledd med branngips på ytersidene, og over hvert testelement ble det montert skrå branngipsplater som tak. Testoppsettet er presentert i bilde 5.2.



Bilde 5.2 Test 2 – Testrigg. Venstre: Kledning og takfot montert på gipskledd ramme, sett fra siden, før montering av gips på ytersiden. Høyre: Testoppsett 2 montert på toppen av brennkammer med gipsplater på yttersider og som tak.

Spesifikasjoner for Test 2 er gitt i tabell 5.9.

Tabell 5.9 Test 2 – Spesifikasjoner

Takfotens spesifikasjoner		Snitt, vertikalt	
A	Underkledning	19 mm	
	Forkantbord	19 mm	
	Forsterkninger	Ingen	
	Brannvern-tiltak	Ingen	
B	Underkledning, tykkelse	35 mm	
	Forkantbord, tykkelse	35 mm	
	Forsterkninger	Trebjelker med tykkelse 50 mm (se figur 4.8)	
	Brannvern-tiltak	Intumescerende bånd i skjøter (se figur 4.8)	

For å kunne måle brannbelastningen ble det montert ett termoelement på framsiden, under hvert testelement. Disse ble montert ved å tre dem igjennom branngipsen på hver side av testoppsettet. Det ble i tillegg montert to termoelementer på baksiden av hvert testelement. Disse ble montert helt nede i takfoten, som illustrert i bilde 5.3.



Bilde 5.3 Test 2 – Plassering av termoelementer

Termoelementenes plassering for øvrig er forklart og illustrert i tabell 5.10 og bilde 5.4.

Tabell 5.10 Test 2 – Plassering av termoelementer

	Termoelement	Høyde over brennkar [m]	Merknad
A	1	1,75	Foran
	3	1,77	Bak, høyre
	4	1,77	Bak, venstre
B	2	1,75	Foran
	5	1,84	Bak, høyre
	6	1,84	Bak, venstre



Bilde 5.4 Test 2 – Plassering av termoelementer

5.2.2 Værforhold

Det ble jevnlig målt vind. Værforhold for Test 2 er presentert i tabell 5.11.

Tabell 5.11 Test 2 – Værforhold

Vind	Svak vind – variabel rundt 3 m/s fra vest
Temperatur	6 °C
Forhold	Overskyet

5.2.3 Brenselforbruk

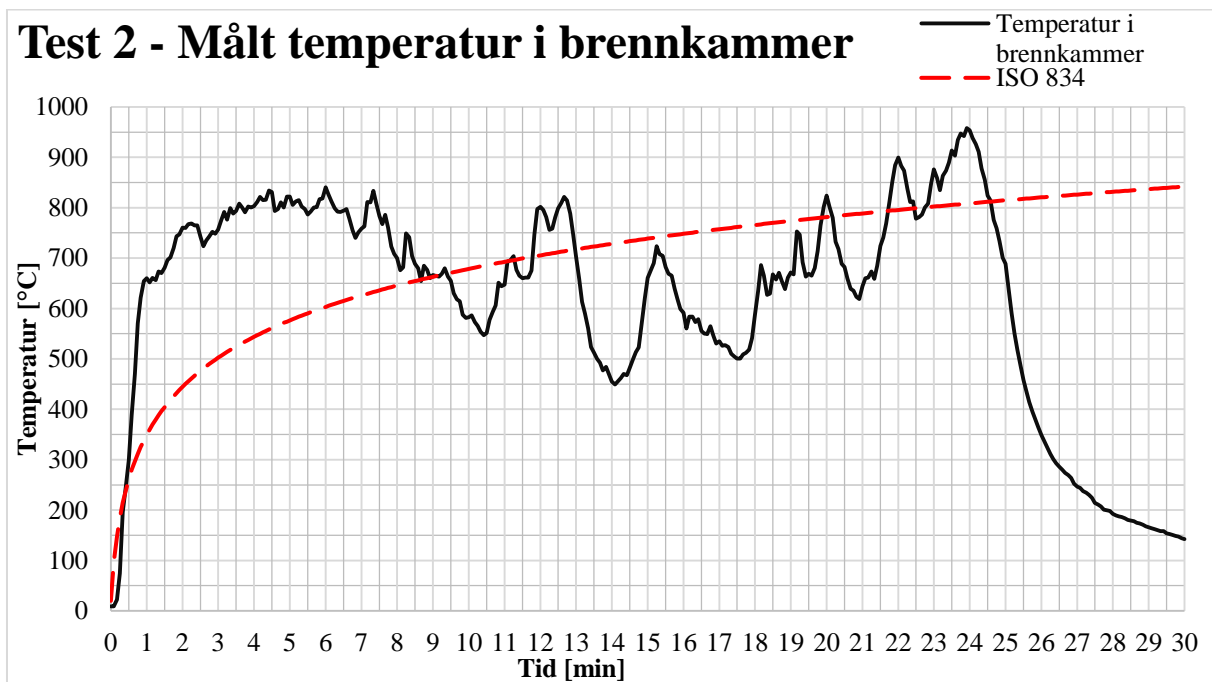
Forbruk av parafin ved Test 2 er presentert i tabell 5.12.

Tabell 5.12 Test 2 – Brenselforbruk

Tid	Antall liter parafin	Merknad
00:00	40	Brannstart
07:18	10	Påfylling
10:00	10	Påfylling
13:48	10	Påfylling
16:57	10	Påfylling
Totalt forbruk:	80	

5.2.4 Brannutvikling

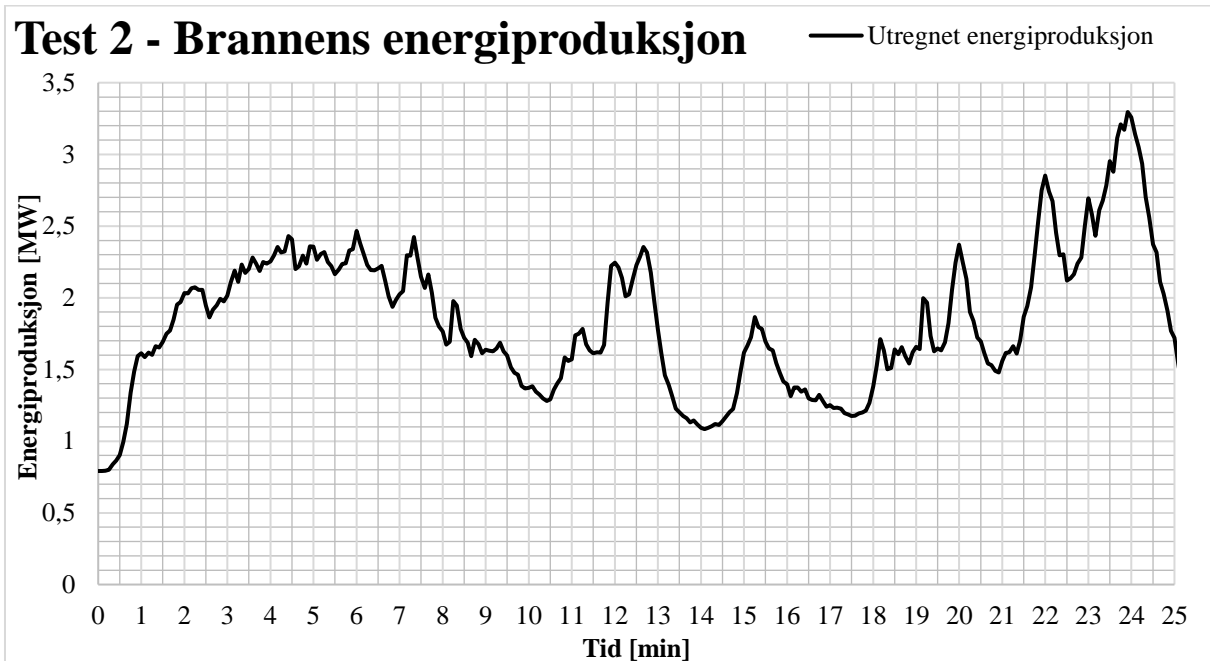
Temperaturutviklingen i brennkammeret er grafisk framstilt i figur 5.4. Her blir den også sammenlignet med ISO 834 (se kapittel 2.4.1). Sammenligningen mot ISO 834 gjøres for å kunne vurdere brannens validitet som en rombrann, og er ikke medtatt for å sammenligne brannpåkjenning av testelementene. Generelle kommentarer til brannutvikling er vedlagt i *Vedlegg A: Kommentarer til brannutvikling*.



Figur 5.4 Test 2 – Målt temperatur i brennkammer

5.2.5 Brannens energiproduksjon

Brannens energiproduksjon blir beregnet ut fra formler beskrevet i kapittel 2.3 og framstilt grafisk i figur 5.5. Forklaring til utregning av energiproduksjon er vedlagt i *Vedlegg B: Utregning av energiproduksjon og sensitivetsanalyse*. Det er valgt å presentere tidsaksen fram til 25 minutter for bedre sammenligning mot SP Fire 105, se figur 2.4.



Figur 5.5 Test 2 – Utregnet energiproduksjon






5.2.6 Observasjoner

Relevante observasjoner fra Test 2 er framstilt i tabell 5.13. Disse baseres på både videoopptak og notater fra observatører.

Tabell 5.13 Test 2 – Observasjoner

Tid	Observasjon	Bilde
10 sek	A: Synlig røyk	
30 sek	A: Takfot fylles med røyk	
1 min 18 sek	A: Første synlige flammer	





Tid	Observasjon	Bilde
1 min 40 sek	A: Hele takfot i flammer	
4 min 30 sek	A: Hele konstruksjon fylt med flammer	
8 min	B: Ingen brannsmitte eller gjennombrenning	
18 min	Generelt: Brannens størrelse øker betraktelig. Sannsynligvis tomt for vann i brennkar	
18 min 20 sek	Generelt: Vann blir påført i bakkant for å beskytte kamerautstyr. Lite trolig at betydelig mengde vann treffer testelement på grunn av sterke termiske krefter	



Tid	Observasjon	Bilde
20 min	Generelt: Tilstand etter 20 min	
20 min 40 sek	B: Kollaps av gipsplate som skal hindre uønsket flammespredning. Platen hindrer nå innsyn	
23 min	Generelt: Brann i brennkammer er slutt.	
27 min	Generelt: Tilstand etter 27 min.	
29 min	B: Forkantbord faller av. Synlig spredning bak forkantbord til innside av takfot. Test avsluttes	
29 min	B: Tidligere nevnte gipsplate fjernes for å åpne for innsyn. Avdekker flammer i venstre del av B. Slukking iverksettes	

5.2.7 Observasjoner av gjenværende materiale

Relevante observasjoner av gjenværende materiale fra Test 2 er framstilt i tabell 5.14.

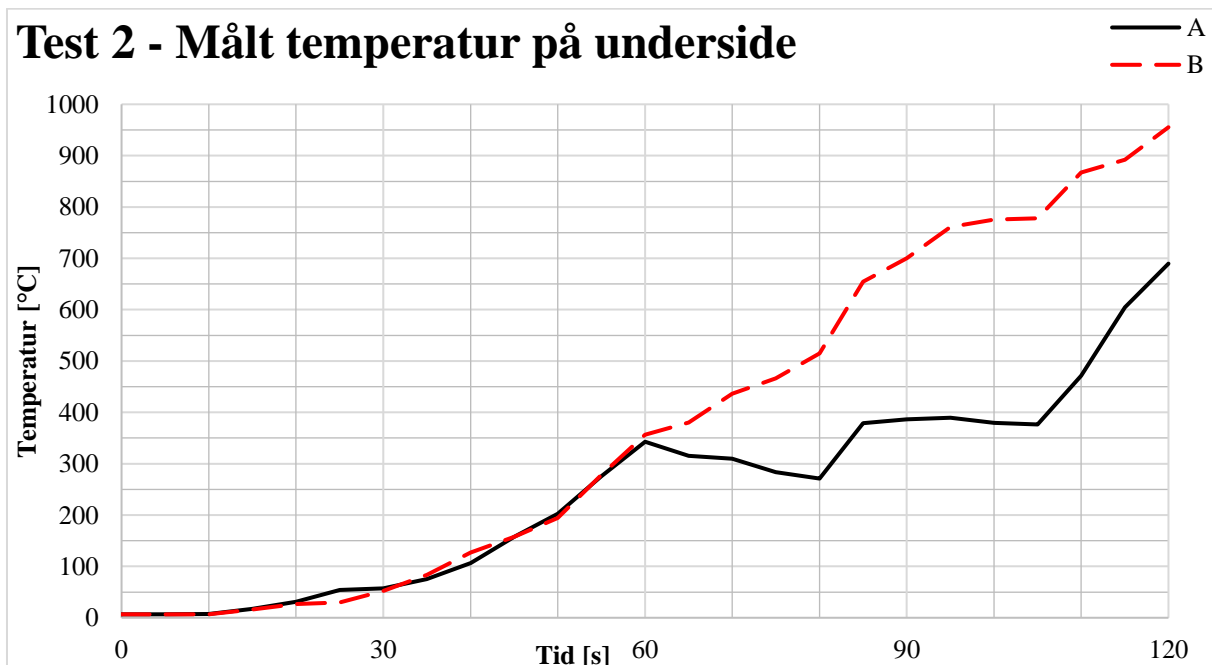
Tabell 5.14 Test 2 – Gjenværende materiale

Observasjon	Bilde
A: Ingen gjenværende materialer	
B: Foran	
B: Bakside, venstre del	
B: Bakside, høyre del	

Observasjon	Bilde
B: Snitt, venstre del	
B: Foran, underkledning tatt vekk	

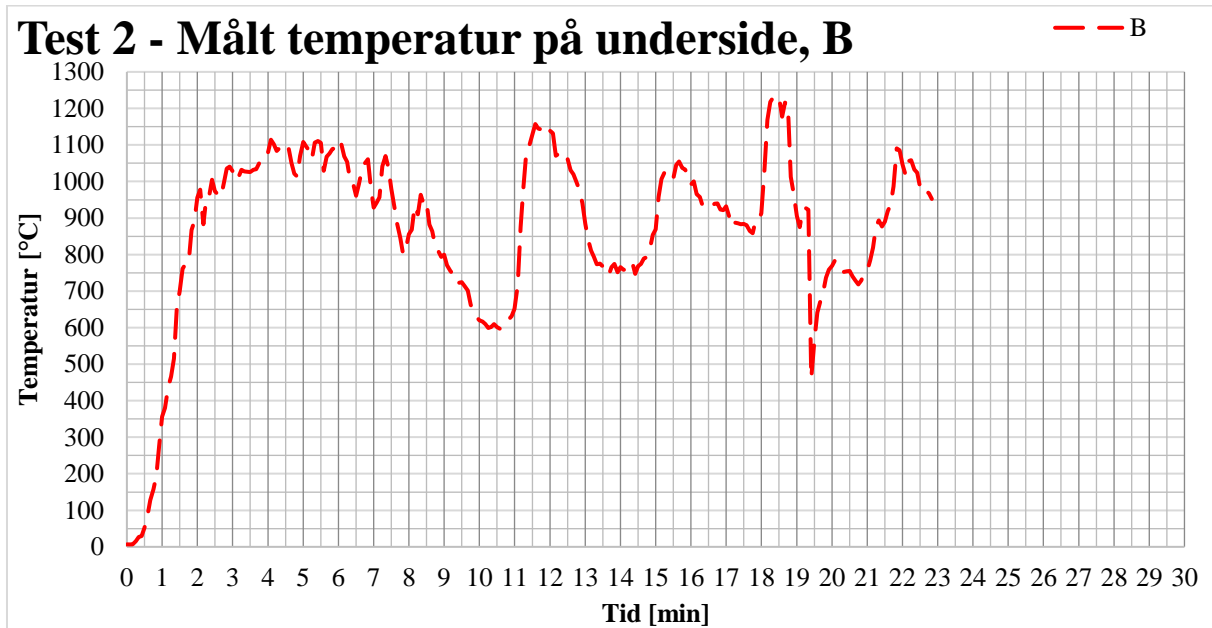
5.2.8 Målt brannbelastning på testelementer

Det ble i Test 2 observert at vind førte til størst belastning på testelement B. Dette var i midlertid av liten betydning ettersom testelement A var gjennombrant etter bare litt over ett minutt. Figur 5.6 viser målt temperatur i forkant av testelementene de første 120 sekundene.



Figur 5.6 Test 2 – Temperatur i underkant av testelement første 2 min

Figur 5.7 viser målt temperatur i underkant av testelement B i tidsrommet der brannen i brennkammeret var aktiv. Måleren er plassert nært testelementet og vil dermed også motta varme fra det glødende trevirket i tillegg til flammemetemperaturen.

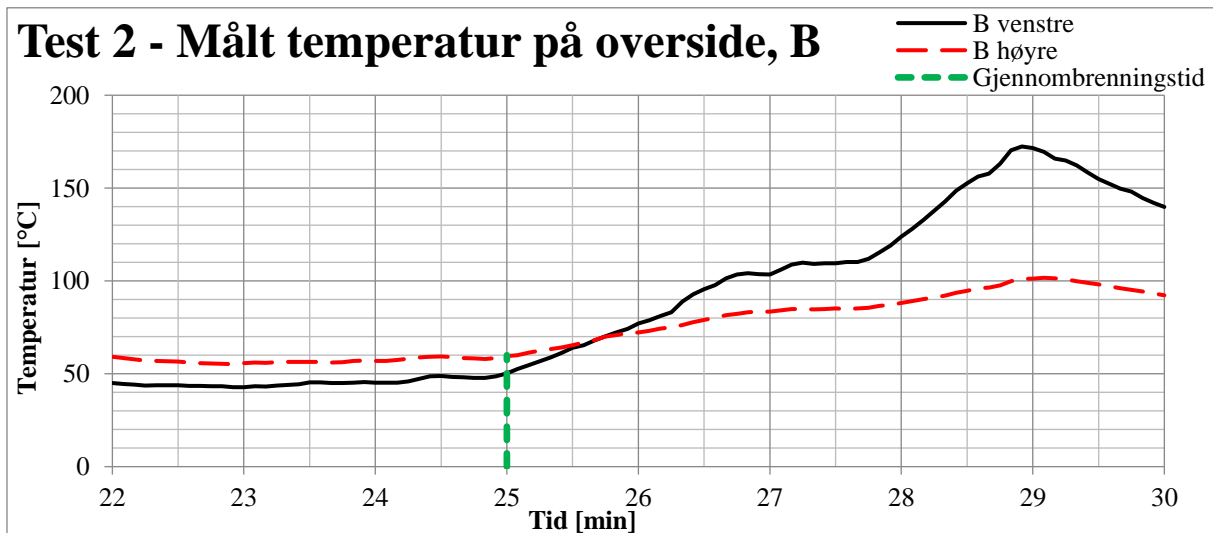


Figur 5.7 Test 2 – Målt temperatur i underkant av testelement B

5.2.9 Tid til gjennombrenning

Tid til gjennombrenning i A blir funnet gjennom observasjoner som presentert i tabell 5.13.

Som beskrevet i tabell 5.13 blir innsyn til B blokkert etter 20 minutter. Det blir registrert en tydelig temperaturøkning ved termoelement fra 25 minutter og fram til omtrent 29 minutter, se figur 5.8. Temperaturfallet etter 29 minutter kommer sannsynligvis av at den tildekkende branngipsplaten ble tatt vekk. Tidene som presenteres brukes til sammenligning mellom testelementene, og må ikke ansees som en klassifisering av løsningen.



Figur 5.8 Test 2 – Temperatur over takfot

Resultatene er oppsummert i tabell 5.15.

Tabell 5.15 Test 2 – Tid til gjennombrenning

	Tid til gjennombrenning	Merk
A	1 min 18 sek	Kontinuerlig flamme etter 1 min og 40 sek
B	25 min	Antatt, ved hjelp av termoelement.

5.2.10 Diskusjon

Testen viser tydelig at takfot med lignende utførelse som A, «Grip før», vil være et svært svakt punkt i et brannskall. Som vist vil en brann kunne spre seg til loftsrom på under to minutter med tilsvarende påkjenning. Tiltakene utført ved Grip (B, «Grip etter») gir brannskallelementet en helt annen dimensjon med tanke på beskyttelse mot gjennombrenning.

Det påpekes at utførelsen av testelementene ikke er helt i samsvar med Grip i virkeligheten, da detaljer som f.eks. takrenne er utelatt. Dette er en feilkilde ved vurdering opp mot de reelle løsningene, men i hvor stor grad dette påvirker den egentlige gjennombrenningstiden spekuleres det ikke over. Det nevnes også at det ble brukt 19 mm trebord til underkledning av A, i stedet for 22 mm som hadde vært en mer realistisk representasjon av «Grip før». Likevel er det sannsynlig at slike detaljer har lite å si for gjennombrenningstiden ved A, og B er uansett en mye mer solid og brannsikker løsning. Detaljer som takrenne o.l. kan være interessante momenter for videre arbeid.

5.3 Test 3 – Gjennombrenningstid tilslutninger

Hensikten med Test 3 var å påføre tømmermannskledning ensidig brannpåkjenning, der det ble simulert en rombrann med brannspredning ut av vindu. Målet med testen var å se på gjennombrenning til hulrom bak kledning ved ulik utførelse av tilslutning mellom kledning og vindu/grunnmur.

5.3.1 Testrigg og –elementer

Test 3 ble konstruert på en rigg med høyde 2,4 m og bredde 2,4 m. Riggene ble kledd med ett lag branngipsplater (15 mm) og ble deretter delt inn i tre seksjoner á 0,80 m bredde og 0,30 m dybde ved bruk av branngipsplater. Inne i seksjonene ble det montert ulike testelementer:

- A – Vanlig tømmermannskledning, 12 mm luftespalte (se kapittel 3.1)
- B – Tømmermannskledning ved Grip, før og etter utbedring (se kapittel 4.4.1)
- C – Vanlig tømmermannskledning, 5 mm luftespalte (se kapittel 3.1)

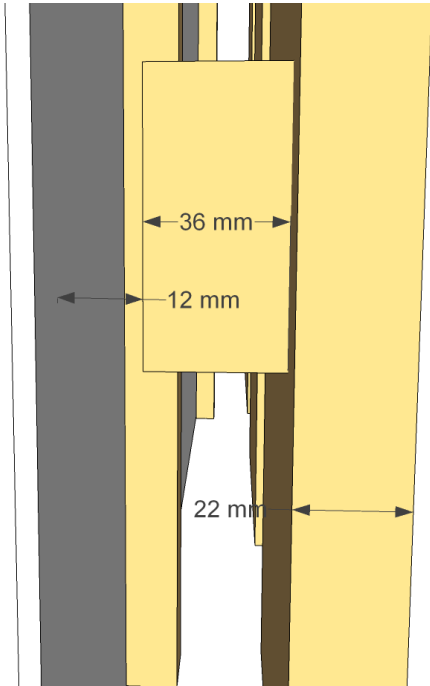
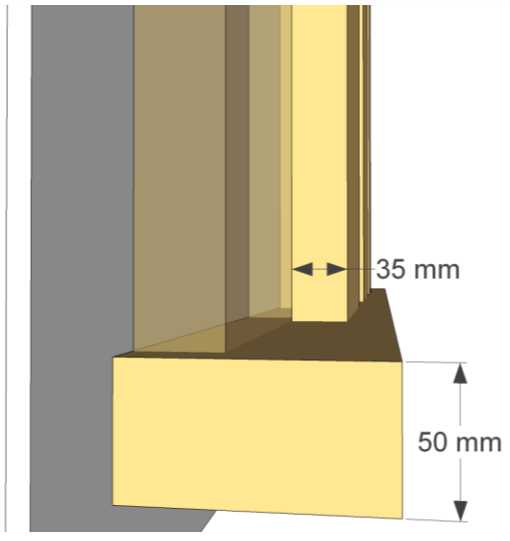
Plassering av testelementer i testriggen blir illustrert med bilde 5.5.

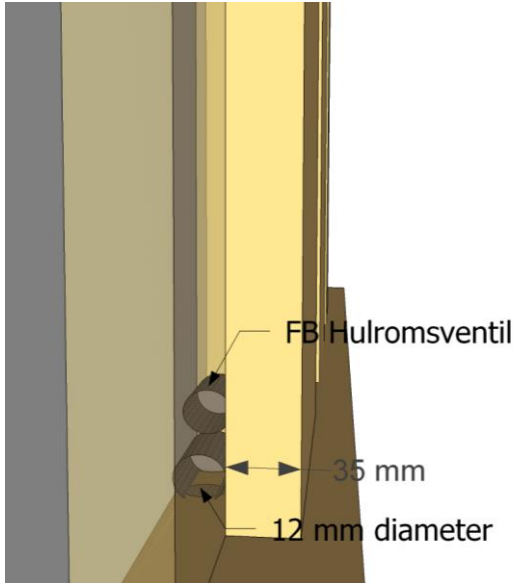
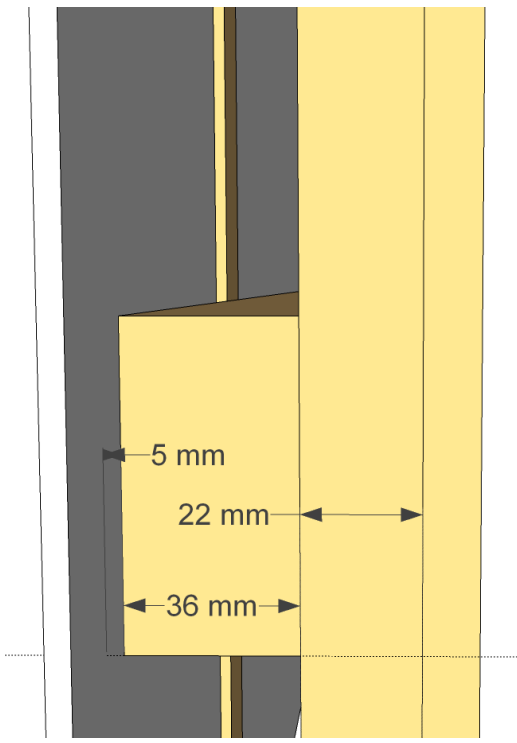


Bilde 5.5 Test 3 – Testrigg

Spesifikasjoner for testelementene er gitt i tabell 5.16.

Tabell 5.16 Test 3 – Spesifikasjoner

Kledningens spesifikasjoner		Merknad	Snitt, vertikalt	
A	Plankenes tykkelse	22 mm		
	Plankenes bredde	148 mm		
	Plankenes høyde	2000 mm		
	Vertikale sløyfer	12 mm tykk		
	Horisontale lekter	36 mm tykk		
	Tilslutning	12 mm luftespalte		Bunn og topp
	Avslutning	20 mm		Klaring over kledning
B1	Plankenes tykkelse	35 mm		
	Plankenes bredde	148 mm		
	Plankenes høyde	2000 mm		
	Tilslutning	50 mm tykk		Vannbord
	Lufting	Ingen		
	Løsninger	Ingen		

Kledningens spesifikasjoner		Merknad	Snitt, vertikalt	
B2	Plankenes tykkelse	35 mm		
	Plankenes bredde	148 mm		
	Plankenes høyde	2000 mm		
	Tilslutning	50 mm tykk		Vannbord
	Lufting	12 mm diameter		Luftehull
	Løsninger	FB Hulromsventil		36 mm diameter
C	Plankenes tykkelse	22 mm		
	Plankenes bredde	148 mm		
	Plankenes høyde	2000 mm		
	Vertikale sløyfer	5 mm tykk		
	Horisontale lekter	36 mm tykk		
	Tilslutning	5 mm luftespalte		Bunn og topp
	Avslutning	20 mm		Klaring over kledning

Etter at testelementene var ferdig montert ble det montert branngipsplater på yttersidene og på oversiden av oppsettet.

Det ble totalt benyttet elleve termoelementer ved Test 3 – tre foran kledningen og åtte på innsiden av hulrom. Alle ble montert ved å tre dem igjennom branngipsen i konstruksjonen på ulike plasser.

Plassering av termoelementer er forklart ved tabell 5.17 og bilde 5.6.

Tabell 5.17 Test 3 – Plassering av termoelementer

	Termoelement	Høyde over brennkar [m]	Merknad
A	1	0,9	Foran
	4	3,0	Øvre hulrom
	7	0,9	Nedre hulrom
B	2	0,9	Foran
	5	3,0	Øvre hulrom, B2
	8	0,9	Nedre hulrom, B1 venstre
	9	0,9	Nedre hulrom, B2
	10	0,9	Nedre hulrom, B1 høyre
C	3	0,9	Foran
	6	3,0	Øvre hulrom
	11	0,9	Nedre hulrom



Bilde 5.6 Test 3 – Plassering av termoelementer

5.3.2 Værforhold

Det ble jevnlig målt vind. Værforhold for Test 3 er presentert i tabell 5.18.

Tabell 5.18 Test 3 – Værforhold

Vind	Middelvei 4 m/s, med kast 7 m/s fra vest
Temperatur	7 °C
Forhold	Sol

5.3.3 Brenselforbruk

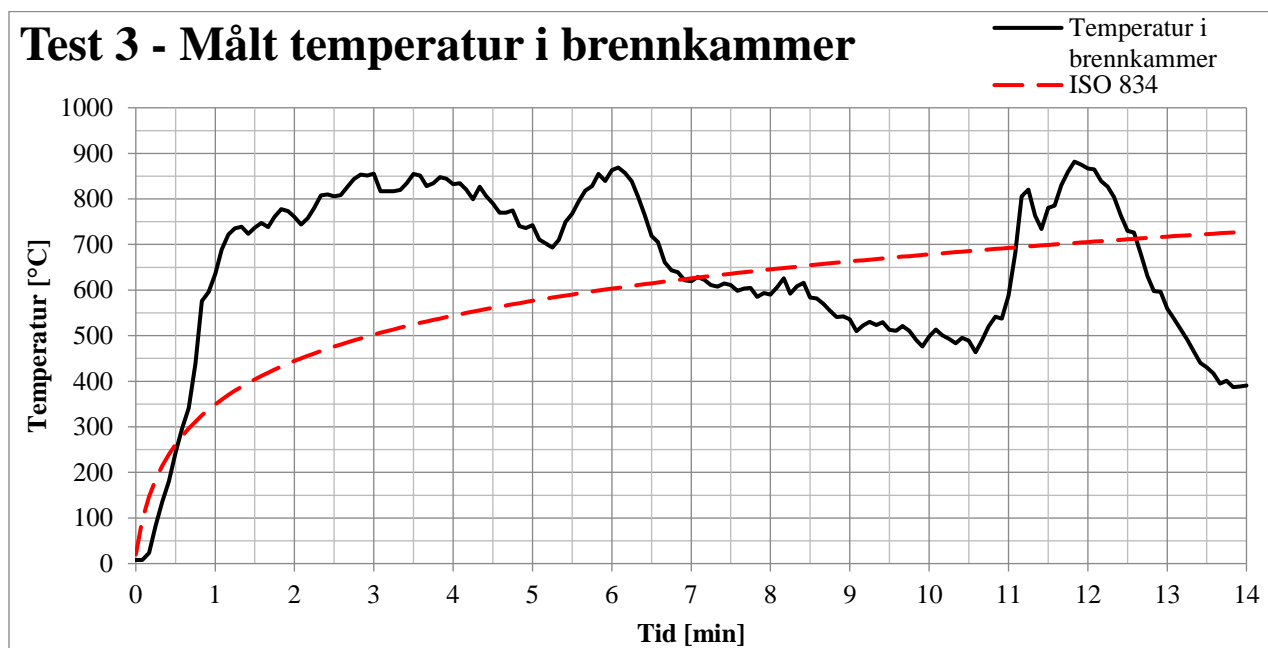
Forbruk av parafin ved Test 3 er presentert i tabell 5.19.

Tabell 5.19 Test 3 – Brenselforbruk

Tid	Antall liter parafin	Merknad
00:00	30	Brannstart
04:39	5	Påfylling
06:43	5	Påfylling
08:56	5	Påfylling
12:29	10	Påfylling
Totalt forbruk:	50	

5.3.4 Brannutvikling

Temperaturutviklingen i brennkammeret er grafisk framstilt i figur 5.9. Her blir den også sammenlignet med ISO 834 (se kapittel 2.4.1). Sammenligningen mot ISO 834 gjøres for å kunne vurdere brannens validitet som en rombrann, og er ikke medtatt for å sammenligne brannpåkjenning av testelementene. Generelle kommentarer til brannutvikling er vedlagt i *Vedlegg A: Kommentarer til brannutvikling*.

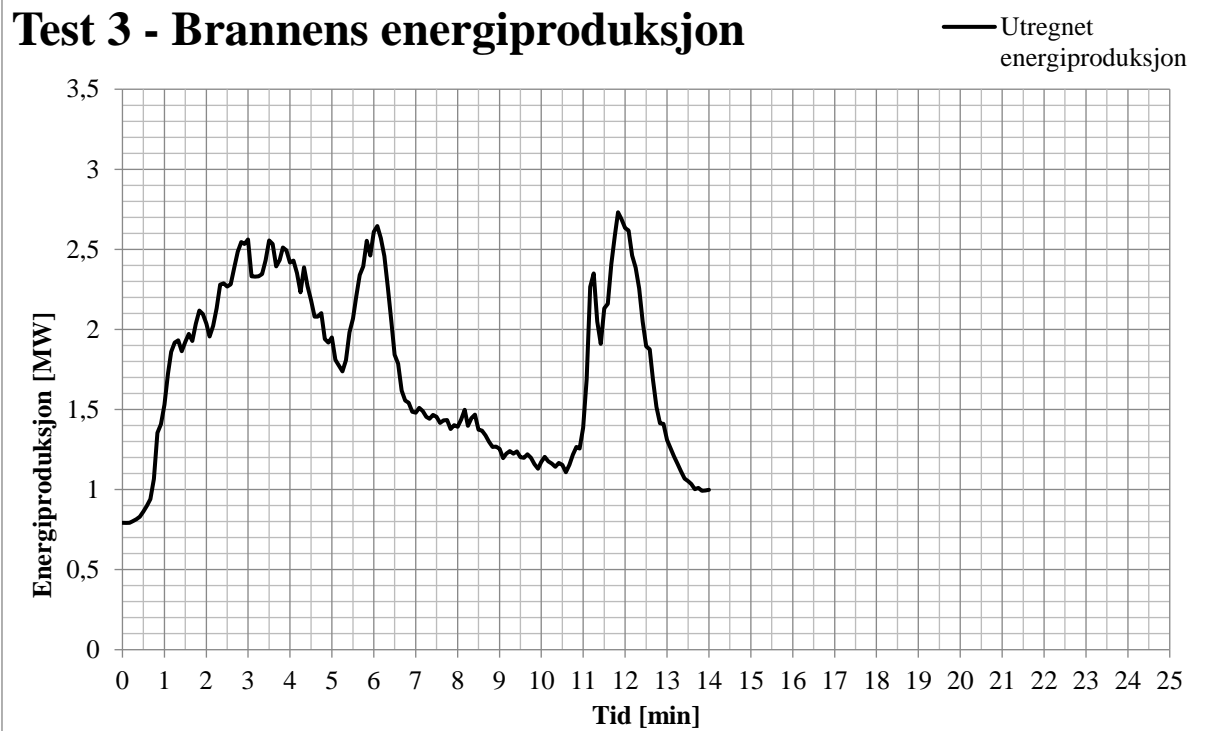


Figur 5.9 Test 3 – Målt temperatur i brennkammer

5.3.5 Brannens energiproduksjon

Brannens energiproduksjon blir beregnet ut fra formler beskrevet i kapittel 2.3 og framstilt grafisk i figur 5.10. Forklaring til utregning av energiproduksjon er vedlagt i *Vedlegg B: Utregning av energiproduksjon og sensitivitetsanalyse*. Det er valgt å presentere tidsaksen fram til 25 minutter for bedre sammenligning mot SP Fire 105, se figur 2.4.

Test 3 - Brannens energiproduksjon






Figur 5.10 Test 3 – Utregnet energiproduksjon

5.3.6 Observasjoner

Relevante observasjoner fra Test 3 er framstilt i tabell 5.20. Disse baseres på både videoopptak og notater fra observatører.

Tabell 5.20 Test 3 – Observasjoner




Tid	Observasjon	Bilde
2 min	Generelt: Klar overvekt av flammer mot testelement B og C grunnet vindforhold	
2 min 10 sek	Røyk ut av toppen av testelement A	




Tid	Observasjon	Bilde
5 min	Fremdeles kun røyk ut testelement A	
13 min	Kun blitt observert røyk ut av testelement A	
14 min	<p>Generelt: Testelement A slukkes for å kunne undersøke gjenværende materiale. Midtre overligger må rives av for å få bukt med flammene. Ikke selvunderholdene brann i B og C. Testriggeren blir stående i 15 minutter mens brannen i brennkammeret dør ut</p>	

5.3.7 Observasjoner av gjenværende materiale

Relevante observasjoner av gjenværende materiale fra Test 3 er framstilt i tabell 5.21.

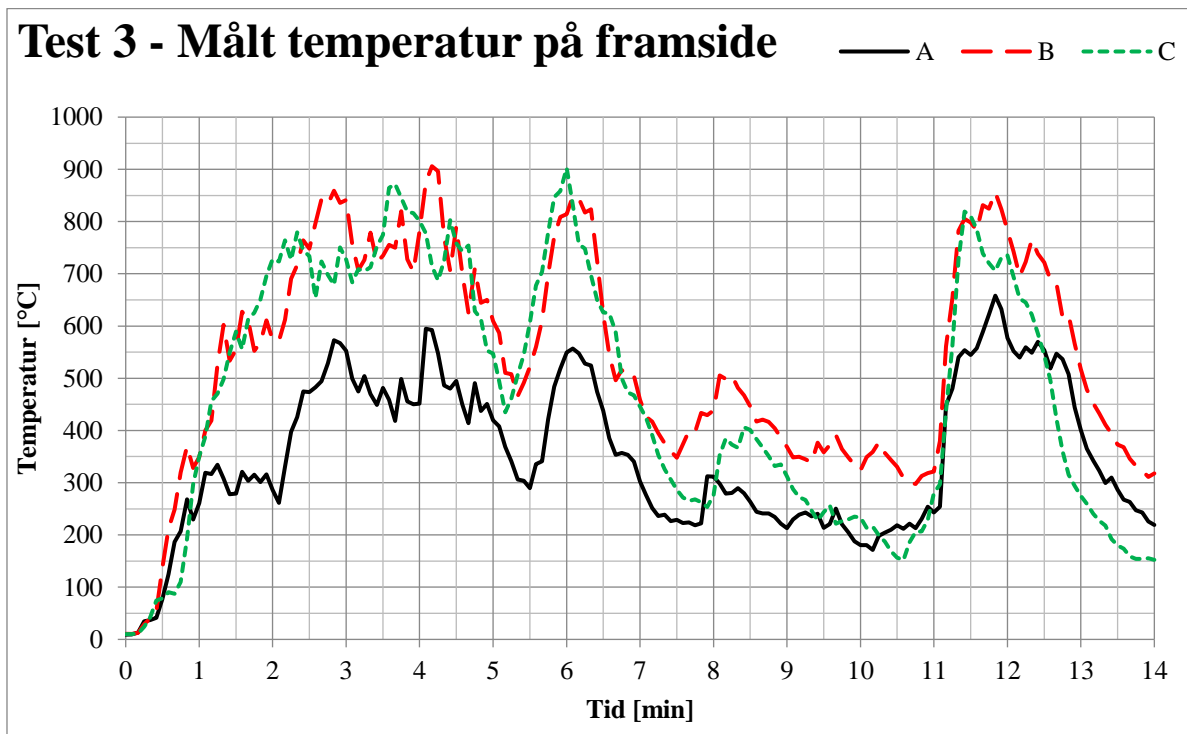
Tabell 5.21 Test 3 – Gjenværende materiale

Observasjon	Bilde
<p>Testrigg etter at brann i brennkammer har dødd ut</p> <p>Midtre overligger ved A er tatt vekk for å slokke hulrom</p> <p>Små deler av A og C (nedre del av kledning samt horisontal lekt) har forvitret som følge av forkulling</p> <p>B tilsynelatende intakt foruten forkulling</p>	
<p>Bakside</p> <p>Tydelig soting og forkulling bak A og C</p> <p>B1 venstre (høyre side av B sett fra denne vinkel) ser ut til å ha blitt noe misfarget, dog i svært liten grad</p>	
<p>All gips tatt vekk. Forkulling på bakside av hele A (høyre)</p> <p>Noe forkulling nederst ved C (venstre), men misfarging i hele høyden</p> <p>B (midt) tilsynelatende uberørt</p>	

Observasjon	Bilde
<p>Nederst på baksiden av B1 venstre: Sprekk i omlegg som følge av brannpåkjenning, samt noe misfarging</p> <p>Ikke tegn til at treverket på innsiden av hulrom har antent.</p>	
<p>B2: Ikke tegn til misfarging bak hulromsventil</p>	
<p>B2: Hulromsventil tatt vekk</p> <p>Noe misfarging i nedre del av hulrom, samt på innside av luftehull</p> <p>Helt til høyre i bildet observeres misfarging i omlegg</p>	

5.3.8 Målt brannbelastning på testelementer

Det ble observert en klar overvekt av flammer på testelement B og C gjennom testforløpet. Dette gjenspeiles i figur 5.11 som viser målt temperatur i forkant av testelementene. Tabell 5.22 viser gjennomsnittlig målt temperatur i forkant av testelementene.



Figur 5.11 Test 3 – Målt temperatur i forkant av testelement

Tabell 5.22 Test 3 – Gjennomsnittlig målt temperatur i forkant av testelementene

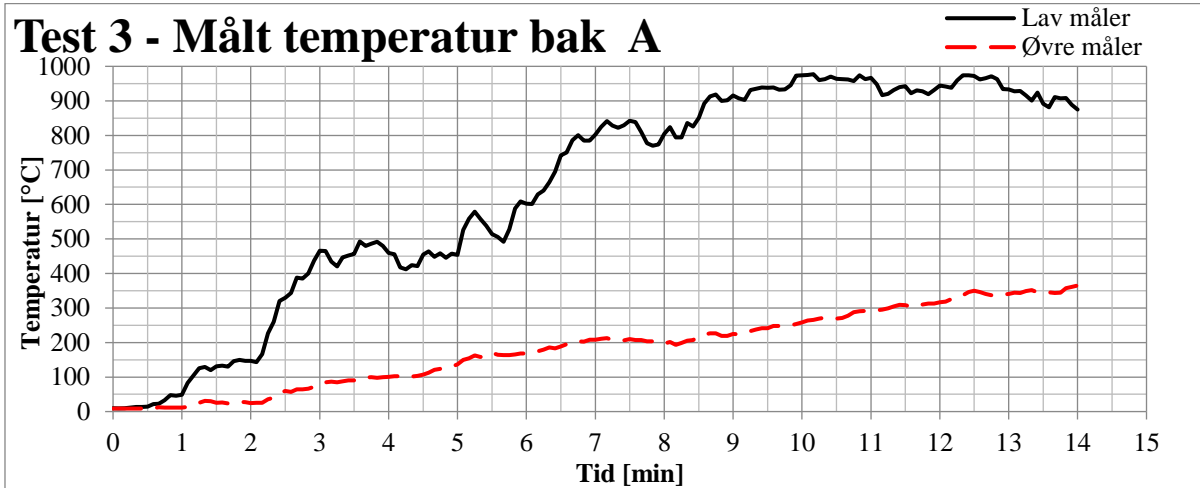
Testelement	Gjennomsnittlig målt temperatur [°C]
A	352
B	536
C	470

5.3.9 Tid til gjennombrenning

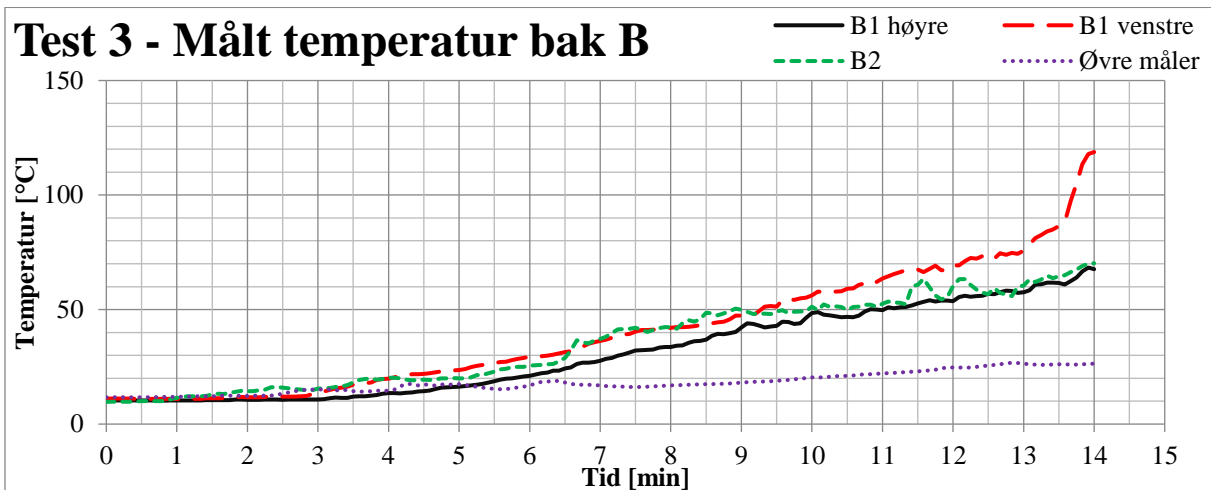
For å kunne avgjøre gjennombrenning i Test 3 må målinger fra termoelementene legges til grunn, ettersom det ikke var innsyn til hulrom under testen. En rask økning i temperatur vil indikere flammegjennomtrengning, mens en jevn økning i temperatur er forventet og indikerer i seg selv ikke gjennombrenning.

De målte temperaturene i hulrommet ved de forskjellige testelementene er grafisk framstilt i figur 5.12, 5.13 og 5.14. Legg merke til at det er av begrenset interesse å sammenligne grafene med hverandre, og det er derfor valgt å benytte ulike verdier i diagramaksene for temperatur.

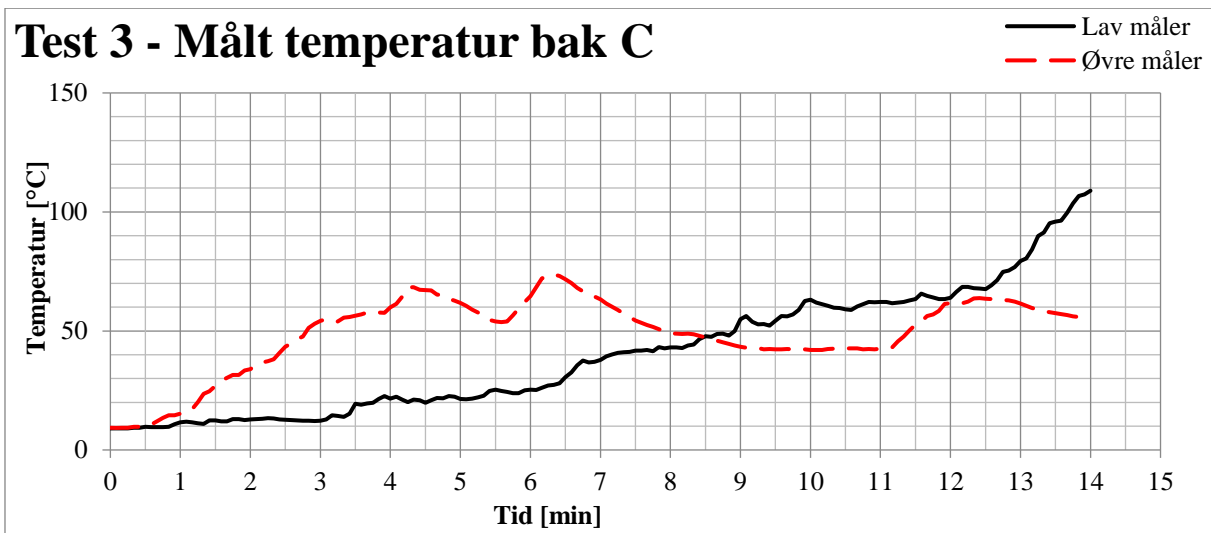
Tidene som presenteres brukes til sammenligning mellom testelementene, og må ikke anees som en klassifisering av løsningen.



Figur 5.12 Test 3 – Målt temperatur bak A

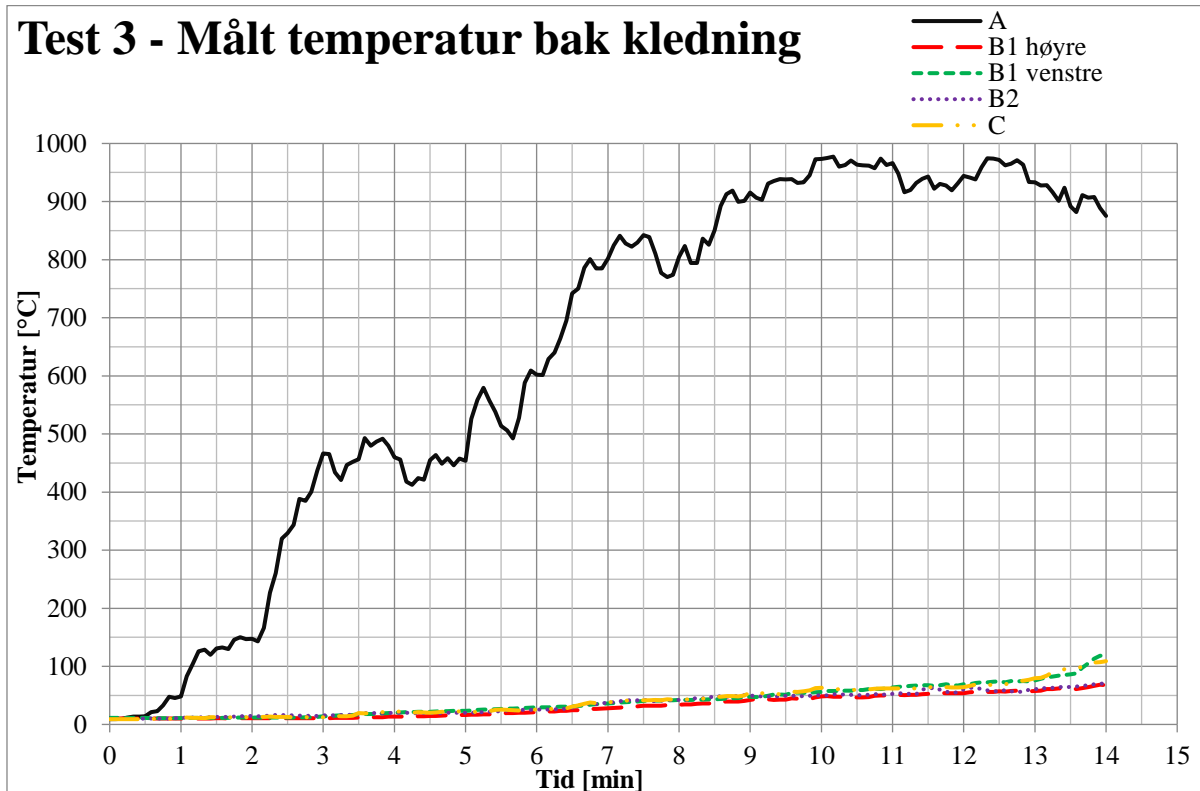


Figur 5.13 Test 3 – Målt temperatur bak B



Figur 5.14 Test 3 – Målt temperatur bak C

For å illustrere den store forskjellen i temperatur i hulrom bak testelementene blir alle målte temperaturer ved nedre del av testelementene framstilt i figur 5.15.



Figur 5.15 Test 3 – Målt temperatur bak kledning

Figur 5.15 viser at kun termoelementet bak A registrerer en markant økning i temperatur over kort tid. Det er sannsynlig at eventuelt brennbart materiale bak testelement A kunne blitt antent etter allerede 2-3 minutter. Tabell 5.23 viser oversikt over resultatene fra testen. Disse må sees i sammenheng med brannpåkjenningen vist i figur 5.11.

Tabell 5.23 Test 3 – Tid til gjennombrenning

	Gjennombrenningstid	Merk
A	1-2 min.	Gjennombrenningstid basert på temperaturøkning, jfr. figur 5.12 og 5.15.
B1	> 14 min.	Observert sprekk i omlegg som følge av brann i B1 venstre, se tabell 5.21. Dette ses i sammenheng med temperaturøkning etter omkring 13 minutter i figur 5.13. Dette kan likevel ikke brukes som gjennombrenningstid i denne testen da målet med testen var å se på tilslutningsløsninger. Tilslutningsløsningen for B1, vannbordet, var ikke gjennombrent ved testens slutt.
B2	> 14 min.	Ikke identifisert gjennombrenning
C	> 14 min.	Gjennom tabell 5.21 kommer det fram at det har vært gjennombrenning til hulrommet da treverk på innsiden er forkullet. Det er likevel ikke blitt registrert markant temperaturøkning i testforløpet, og gjennombrenningstid kan dermed ikke identifiseres.

5.3.10 Diskusjon

Som vist i figur 5.11 og tabell 5.22 er temperaturlastningen på B og C høyere enn ved A. Til tross for dette er det testelement A som opplever gjennombrenning. Figur 5.12 viser temperaturutviklingen bak testelement A i løpet av testens forløp.

Det er i testtriggen ikke inkludert brennbart materiale i hulrommet bak kledningen. I en reell vegg kan det være en vindsperre av brennbart materiale på bakenforliggende konstruksjon, i tillegg til tørt løv og støv eller andre mindre objekter. Det er trolig at slike detaljer ville ha framskyndet temperaturøkningen/brannspredningen til øvre del bak A, men dette er ikke relevant da gjennombrenning allerede har funnet sted ved antennelse av bakenforliggende materialer/objekter.

Testelement B opplever ikke tegn til gjennombrenning i tilslutning gjennom testens forløp. Dette var også å forvente da gjennombrenning på «Grip før» (B1) må penetrere et 50 mm tykt vannbord for å nå hulrom. Fra figur 5.13 ser man likevel en temperaturøkning i B1 Venstre etter 13 minutter. Ut i fra tabell 5.21 kan dette være et resultat av gjennombrenning i omlegg, ikke tilslutning. Selv om dette ikke var målet med testen er det et interessant resultat som bygger opp under resultater fra Test 1. Resultatene viser for øvrig at tiltak utført ved Grip for å oppnå lufting bak kledning sannsynligvis ikke har forringet brannsikkerheten, om noe.

Testelement C viser seg i testen som overlegen i forhold til testelement A og opplever i løpet av de første 14 minuttene ikke gjennombrenning. Her kunne det i større grad enn ved A vært interessant å se om brennbart materiale i hulrom kunne ha forårsaket brannspredning, dette fordi det observeres forkulling på innsiden av hulrom/kledning selv om temperaturmålingene er lave. Ved antennelse måtte det i så fall ha blitt konkludert med gjennombrenning.

Et interessant moment ved testelement C kommer fram gjennom figur 5.14. Denne viser en høyere temperatur i øvre del av C, enn i nedre del, over en lengre periode. På grunn av at flammene i brennkammeret tidlig fikk en klar dreining mot C er det sannsynlig at det ble akkumulert en betydelig mengde varme gasser i overkant av elementet. Dette hindret sannsynligvis den kalde luften i hulrommet bak C å strømme ut på toppen. For C kan dette ha medført økt motstand mot gjennombrenning for tilslutningen – ettersom luftstrømmen kanskje ble redusert.

Det hadde derfor vært interessant å se om C hadde hatt like stor grad av brannmotstand ved en lavere brannpåkjenning, eller uten akkumulering av varme røykgasser på toppen, slik at gjennomlufting ikke ble hindret. Om denne effekten er av avgjørende betydning kan være et poeng ved videre testing.

Testelementene fra Test 3 kan sammenlignes med Test 1 ettersom begge testene ser på tømmermannskledning. Testtriggen ved Test 3 er likevel høyere, og den horisontale branngipsplaten på toppen stikker ikke ut i like stor grad. Det oppstår i Test 3 ikke synlige problemer med spikerfestene, selv ved A som blir utsatt for tosidig brannpåkjenning. Årsaken til dette kan kanskje spores til høyde fra brennkammer til horisontalt utstikk, og dimensjonene på dette.

5.4 Test 4 – Gjennombrenningstid åpninger og ventiler

Hensikten med Test 4 var å utsette åpninger i vegg og takfot for ensidig brannpåkjenning, der det ble simulert en rombrann med brannspredning ut av vindu. Målet med testen var å se på gjennombrenning i ulike løsninger for ventilasjon, både av konstruksjon (tilslutninger og takfot) og av øvrig bygningsmasse (friskluftsentil).

5.4.1 Testtrigg og –elementer

Test 4 ble konstruert på en testtrigg med høyde 1,2 m og bredde 2,4 m. På framsiden av riggen ble det montert ett lag med branngipsplater (15 mm). Deretter ble det montert vertikale sløyfer (12 mm) og horisontale lekter (36 mm). Det ble så laget en vegg av stående kledning med parallelle trebord (19 mm tykk, 148 mm bred) i hele rammens høyde og bredde.

Ut fra toppen av testtriggen, med 20 mm klaring til overkant av veggen, ble det på tvers montert to parallelle trebjelker av 50 mm tykkelse og 200 mm bredde som en takfot. Skjøten mellom bjelkene ble fylt med brannfugemasse. I takfoten ble det så tilordnet plass for 12 ulike testelementer. I tillegg ble det laget plass for ett testelement i veggen. Sidene av riggen ble kledd med branngipsplater for å verne mot vind.

Beskrivelse av testelementer, samt plassering, er forklart ved hjelp av tabell 5.24 og bilde 5.7.

Tabell 5.24 Test 4 – Beskrivelse av testelementer

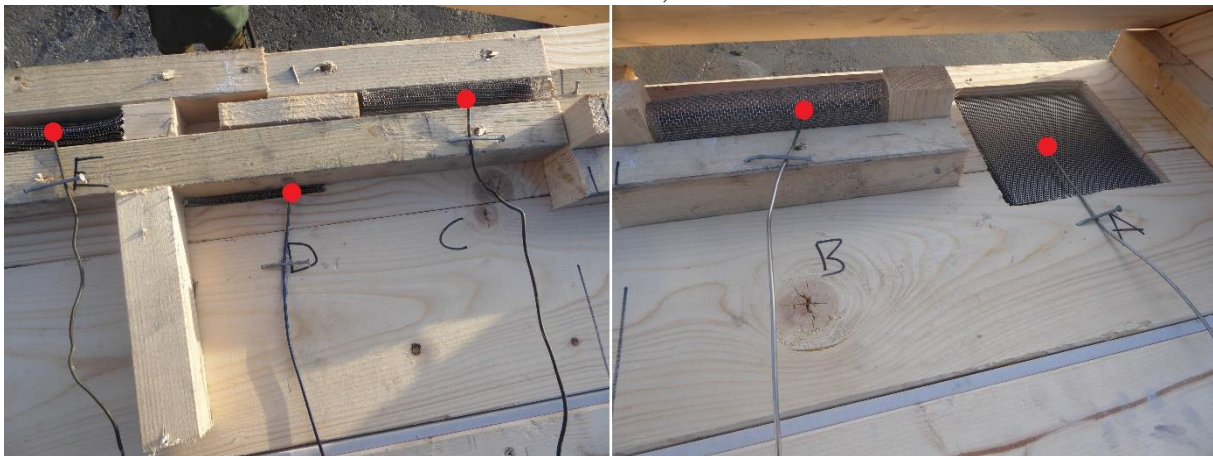
	Produkt	Montering	Merknad
A_H	FB Overstrømsventil (Kapittel: 4.3.6)	200 mm x 200 mm. Flexit stålrister og gnistfanger på eksponert side. Åpen på ueksponert side (simulerer åpen klaffventil)	Testet og godkjent for 60 minutter brannmotstand i vegg. Ikke godkjent for horisontal montering
A_V	FB Overstrømsventil (Kapittel: 4.3.6)	200 x 200 mm. Flexit stålrister og gnistfanger på eksponert side. Åpen på ueksponert side (simulerer åpen klaffventil)	Testet og godkjent for 60 minutter brannmotstand i vegg. Ikke godkjent for horisontal montering
B	FB Hulromsventil (Kapittel: 4.3.4)	Glippe i takfot: 30 mm	Testet og godkjent for 60 minutter brannmotstand. Diameter: 36 mm
C	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 25 mm	To hylser. Diameter: 45 mm. Intumescentbånd i eksponert hylse
D	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 15 mm	To hylser. Diameter: 45 mm. Intumescentbånd i eksponert hylse
E	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 35 mm	Maskevidde: 45 mm. Én hylse. Intumescentbånd
F	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 12 mm	To hylser. Diameter: 22 mm. Intumescentbånd i eksponert hylse
G	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 12 mm	Én hylse. Diameter: 22 mm. Intumescentbånd
H	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 7 mm	To hylser. Diameter: 11 mm. Intumescentbånd i eksponert hylse
I	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: Varierende, 4-10 mm	To hylser. Diameter: 11 mm. Intumescentbånd i eksponert hylse

	Produkt	Montering	Merknad
J	FB Miniventil (Kapittel: 4.3.5)	Glippe i takfot: 7 mm	Én hylse. Diameter: 11 mm. Intumescentbånd
K	Stålnetting (Kapittel: 4.3.2)	150 mm x 150 mm	Maskevidde 2 mm. Stiftet fast på ueksponert side.
L	Ubeskyttet åpning	Glippe i takfot: 15 mm	Åpen, ingen tiltak



Bilde 5.7 Test 4 – Plassering av elementer i testtriggen. Framside, sett nedenfra.

Det ble benyttet totalt 13 termoelementer i Test 4 – ett per testelement. Termoelementene ble montert omtrent i senter rett over/bak testelementet, som vist i bilde 5.8.



Bilde 5.8 Test 4 – Plassering av termoelementer

5.4.2 Værforhold

Det ble jevnlig målt vind. Værforhold for Test 4 er presentert i tabell 5.25.

Tabell 5.25 Test 4 – Værforhold

Vind	Middelverdi 7 m/s, med kast 10 m/s fra vest
Temperatur	6 °C
Forhold	Sol, avløst av bygevær med regn og hagl

Kommentar

Etter 14 minutter måtte testen avsluttes på grunn av kraftig vind, regnvær og hagl.

5.4.3 Brenselforbruk

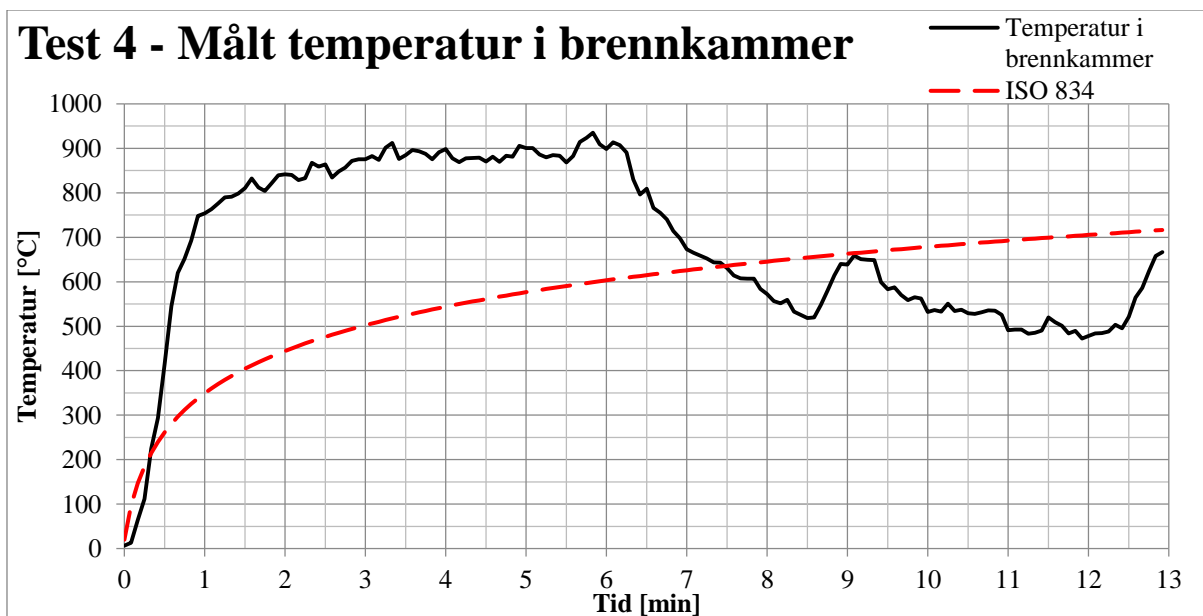
Forbruk av parafin ved Test 4 er presentert i tabell 5.26.

Tabell 5.26 Test 4 – Brenselforbruk

Tid	Antall liter parafin	Merknad
00:00	30	Brannstart
05:59	5	Påfylling
08:02	5	Påfylling
10:51	5	Påfylling
12:22	5	Påfylling
Totalt forbruk:	50	

5.4.4 Brannutvikling

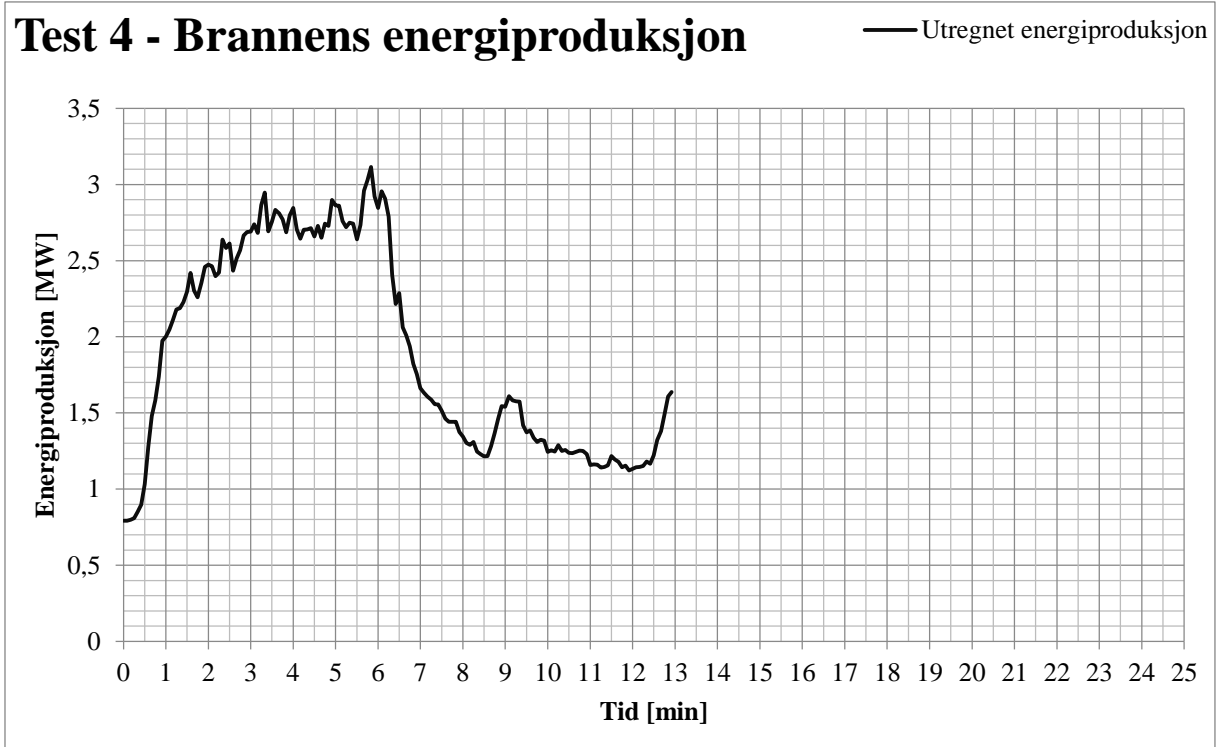
Temperaturutviklingen i brennkammeret er grafisk framstilt i figur 5.16. Her blir den også sammenlignet med ISO 834 (se kapittel 2.4.1). Sammenligningen mot ISO 834 gjøres for å kunne vurdere brannens validitet som en rombrann, og er ikke medtatt for å sammenligne brannpåkjenning av testelementene. Generelle kommentarer til brannutvikling er vedlagt i Vedlegg A: Kommentarer til brannutvikling.



Figur 5.16 Test 4 – Målt temperatur i brennkammer

5.4.5 Brannens energiproduksjon

Brannens energiproduksjon blir beregnet ut fra formler beskrevet i kapittel 2.3 og framstilt grafisk i figur 5.17. Forklaring til utregning av energiproduksjon er vedlagt i *Vedlegg B: Utregning av energiproduksjon og sensitivitetsanalyse*. Det er valgt å presentere tidsaksen fram til 25 minutter for bedre sammenligning mot SP Fire 105, se figur 2.4.



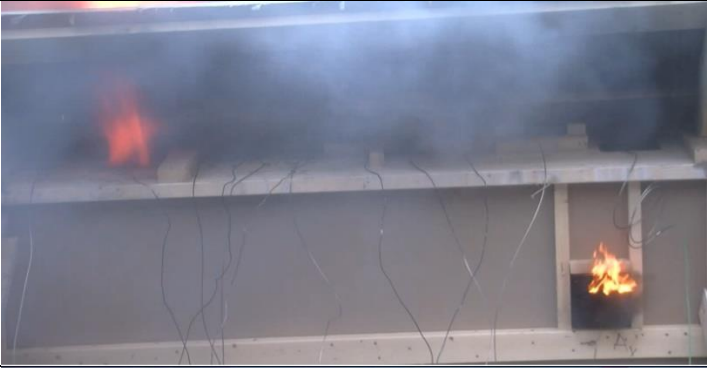



Figur 5.17 Test 4 – Utregnet energiproduksjon

5.4.6 Observasjoner

Relevante observasjoner fra Test 4 er framstilt i tabell 5.27. Disse baseres på både videoopptak og notater fra observatører.

Tabell 5.27 Test 4 – Observasjoner

Tid	Observasjon	Bilde
43 sek	Første flammer gjennom K og L	

Tid	Observasjon	Bilde
1 min 7 sek	A _v : Synlig flammekast Varighet ca. 1 sek	
1 min 43 sek	Bakside Synlige flammekast gjennom B, C, D og E: Varighet: - B: 4 sek - C: 5 sek - D: 5 sek - E: 10 sek	
1 min 43 sek	Framsida: Brannens tilstand ved flammer gjennom B, C, D og E	
2 min 30 sek	Utsiktet antennelse av bakside Flammespredning fra K og L mot testelement F-J	

Tid	Observasjon	Bilde
4 min	Flammespredning mot C, D og E	
14 min	Test avsluttes som følge av sterk vind og regn og hagl	

5.4.7 Observasjoner av gjenværende materiale

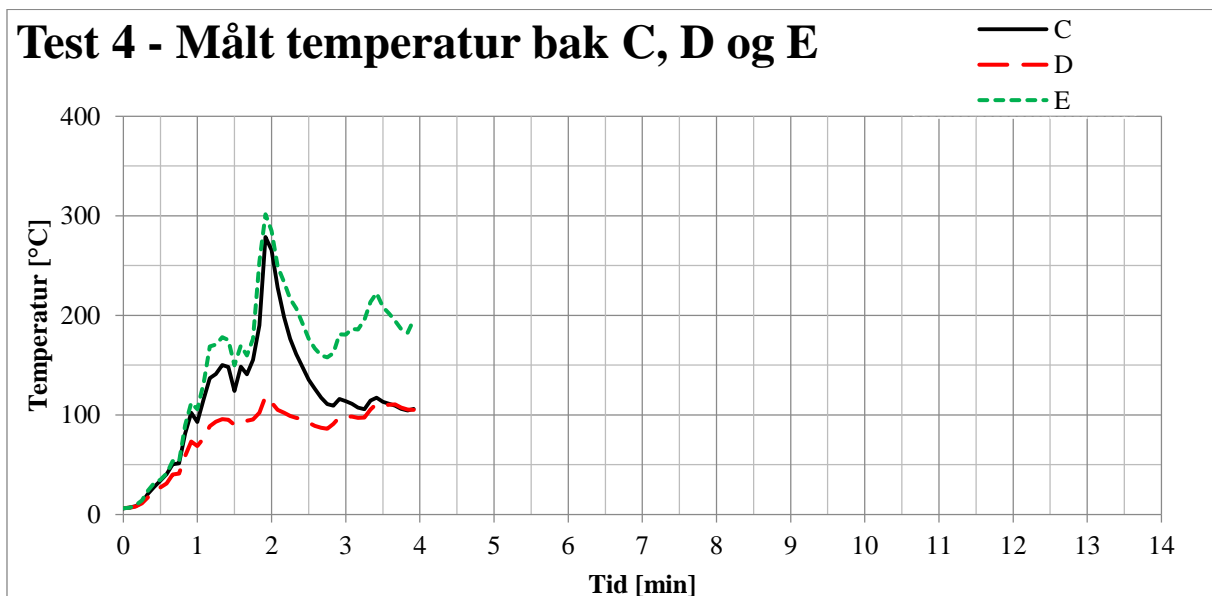
Det ble ikke funnet nødvending å presentere gjenværende materiale fra Test 4. Dette er likevel dokumentert i *Vedlegg C: Gjenværende materiale Test 4*.

5.4.8 Målt brannbelastning på testelementer

Det ble ikke målt brannbelastning på eksponert side av testelementene, hovedsakelig fordi det ikke var nok termoelementer tilgjengelig ved instrumentering.

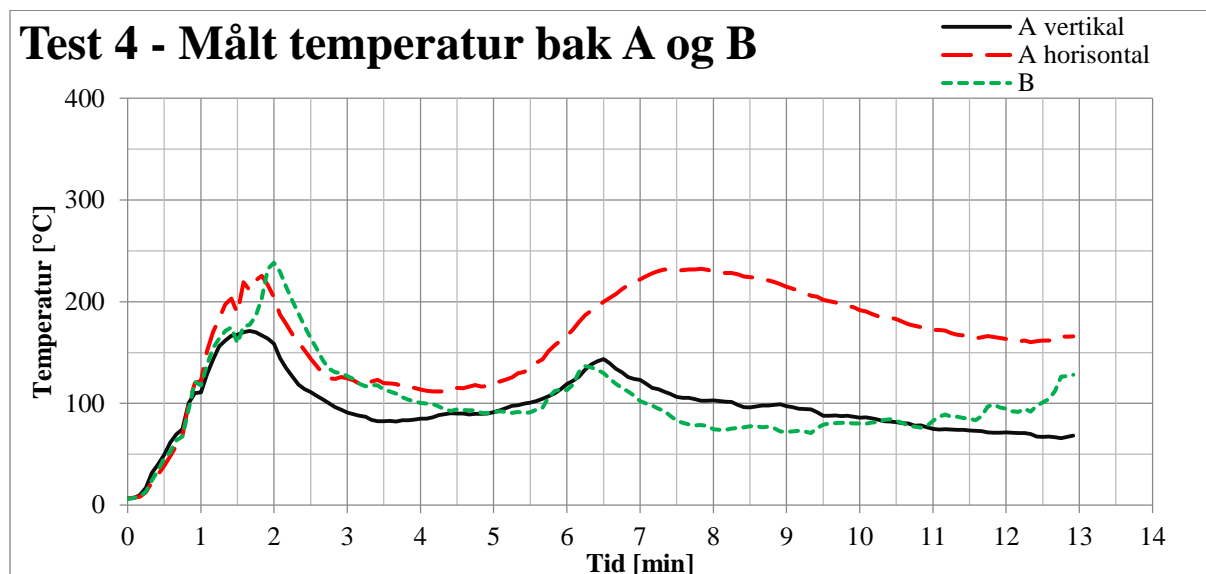
5.4.9 Tid til gjennombrenning

Som følge av tidlig brannsmitte på baksiden av testelementene er resultatene særdeles amputerte. Temperaturmålingene for F-J antas å være kompromitterte etter kort tid og vurderes derfor ikke. Temperaturmålingene for C, D og E presenteres i figur 5.18 for testens fire første minutter, men vurderes å være delvis kompromitterte.



Figur 5.18 Test 4 – Temperaturmålinger bak C, D og E

Temperaturmålingene for A og B er presentert i figur 5.19. For A_V antas resultatet upåvirket av brannsmitte på ueksponert side i forbindelse med observert flamme. For A_H og B er det usikkert om resultatene er kompromitterte av brannsmitte på ueksponert side.



Figur 5.19 Test 4 – Temperaturmålinger bak A og B

Det ble observert flammekast bak flere av testelementene (se tabell 5.27), og dette setter tid til gjennombrenning selv om disse var av begrenset varighet. For B (figur 5.19), C og E (figur 5.18) samsvarer temperaturøkning godt med observerte flammekast. Det blir også observert flammekast ved A_V og D. For B, C, D og E er det usikkert om flammekast kommer som følge av brannsmitte fra K og L, eller eventuelt brannsmitte mellom de aktuelle ventilene.

Tabell 5.28 oppsummerer tid til synlige flammer ved Test 4. Tidene som presenteres brukes til sammenligning mellom testelementene, og må ikke anses som en klassifisering av løsningen.

Tabell 5.28 Test 4 – Tid til synlig flamme

Testelement	Tid til synlig flamme	Varighet
K, L	43 sek	Kontinuerlig
A _V	1 min 7 sek	1 sek
B	1 min 48 sek	4 sek
C	1 min 48 sek	5 sek
D	1 min 48 sek	5 sek
E	1 min 48 sek	10 sek
A _H	Ikke observert	
F, G, H, I, J	Testelement vurderes ikke	

5.4.10 Diskusjon

En av idéene ved utformingen av testriggeren og plassering av testelementer var at vinden blåste i en slik retning, at dette ville forhindre brannspredning på baksiden ved gjennombrenning i K og L. Brannspredning mot vindretning inntraff uansett, sannsynligvis på grunn av branngipsplatene på yttersiden av testriggeren. Testen ble uansett avbrutt som følge av sterk vind, regn og hagl.

Gjennombrenningstid for testelementene ble presentert i kapittel 5.4.10. Som beskrevet er varigheten av flammekastene for element A_V, B, C, D og E begrenset, og det stilles spørsmål til om dette er tilstrekkelig for å antenne brennbare materialer på ueksponert side. I tillegg blir det ikke observert flammer i etterkant av den ene perioden med flammekast, og det antas derfor at ventilene har sperret sine respektive åpninger etter dette. Det vurderes sannsynlig at flammekastene ved B, C, D og E kommer som følge av brannsmitte fra testelement K og L, ved at varme gasser som passerer gjennom ventilene blir antent på oversiden.

Ved undersøkelser av gjenværende materialer ser det ut til at intumescentbåndene har fylt store deler av åpningen de skal beskytte, og det antas at det omhyllende treverket vil svikte før ventilene ved videre brannpåkjenning.

5.5 Oppsummering

Oppsummering av resultater fra samtlige tester er gitt i tabell 5.29. Tabellen viser tid til vurdert/antatt gjennombrenning. Tidene som oppgis er ikke «klassifiseringer», men brukes som sammenligning på ytelsen av testelementene. Gjennombrenningstid i denne rapporten defineres som tid til synlig flamme på ueksponert side – uavhengig av varighet.

Tabell 5.29 Oppsummering – Tid til gjennombrenning

	Element	Beskrivelse	Tid	Merknad
Test 1	A	Tømmermannskledning, 19 mm kledning	5 min 30 sek	Gjennombrenning øverst, mulig som følge av sviktende spikerfester
	B	Tømmermannskledning «Grip etter», 35 mm kledning med intumescentbånd i omlegg	6 min	
	C	Tømmermannskledning «Grip før», 35 mm kledning	5 min 30 sek	
Test 2	A	Takfot «Grip før», 19 mm underkledning og forkantbord	1 min 18 sek	
	B	Takfot «Grip etter», 35 mm underkledning med intumescentbånd + 50 mm forsterkning	25 min	
Test 3	A	Tømmermannskledning, 22 mm kledning, tilslutning med 12 mm luftespalte	2 min	
	B1	Tømmermannskledning, 35 mm. Tilslutning, vannbord 50 mm, uten lufting, «Grip før».	> 14 min	
	B2	Tømmermannskledning, 35 mm. Tilslutning, vannbord 50 mm, luftehull 12 mm diameter, FB Hulromsventil, «Grip etter».	> 14 min	
	C	Tømmermannskledning, 22 mm kledning, tilslutning med 5 mm luftespalte	> 14 min	

	Element	Beskrivelse	Tid	Merknad
Test 4	A_H	FB Overstrømsventil montert i takfot	Ikke oppnådd	
	A_V	FB Overstrømsventil montert i vegg	1 min 7 sek	Varighet: 1 sek
	B	FB Hulromsventil	1 min 48 sek*	Varighet: 4 sek
	C	FB Miniventil	1 min 48 sek*	Varighet: 5 sek
	D	FB Miniventil	1 min 48 sek*	Varighet: 5 sek
	E	FB Miniventil	1 min 48 sek*	Varighet: 10 sek
	K	Stålnetting	43 sek	Kontinuerlig
	L	Ubeskyttet åpning	43 sek	Kontinuerlig

*Synlige flammer observert, men det er sannsynlig at flammen er et resultat av brannsmitte på ueksponert side fra andre testelementer (K og L)

6 Litteraturstudium

Dette kapittelet er et mindre litteraturstudium av forskning vedrørende passive brannvernsprodukter som kan ha effekt på tid til gjennombrenning i brannskallelementer. Det er valgt å se på andre produkter enn hva som er blitt testet i sammenheng med bacheloroppgaven.

Tiltakene som beskrives er forskjellige typer overflatebehandling. Disse er som oftest rettet mot tid til antennelse – ikke tid til gjennombrenning. Det er på det europeiske markedet flere produkter som fungerer flammehemmende og dermed påstår de har effekt på tid til antennelse, massetapsrate, forkullingsrate og flammespredning. Tid til gjennombrenning av materialer vil øke hvis massetapsraten og forkullingsraten går ned. Teorien bak produktene og forskningsmetodene dekkes ikke i denne oppgaven.

6.1 Ytelse av brannhemmende produkter – Kögl, Hartmann & Beikircher

I 2013 utførte Josef Kögl, Paul Hartmann og Wilfried Beikircher tester på brannhemmende produkter ved Universitetet i Innsbruck [58]. De beskriver testing av fire ulike brannhemmende produkter på trestykker av norsk gran. Det ble testet to typer intumescerende overflatebehandlinger (A1 og A2), én type ikke-intumescerende brannmaling (C1) og én type brannimpregnering (C2). Testene ble sammenlignet mot et prøvestykke uten behandling (REF). Prøvestykkene (100 mm x 100 mm) ble testet ved to ulike brannpåkjenninger; ved varmestråling på 50 kW/m² og ved en standard tid-temperaturkurve etter ISO 834. Målet for testene var å se på energiproduksjon og massetapsrate under en testperiode på 15 minutter. Hver testserie ble gjennomført tre ganger. Tabell 6.1 presenterer en oversikt over de ulike testelementene, samt påført mengde av brannhemmende produkt.

Tabell 6.1 Oversikt over testserie av brannhemmende produkter [58].

Testserie	Brannhemmende produkt	Påført mengde	Prøvestykkets tykkelse [mm]
A1	Intumescerende overflatebehandling	350 [g/m ²]	30
A2	Intumescerende overflatebehandling	350 [g/m ²]	30
C1	Ikke-intumescerende brannmaling	300 [g/m ²]	30
C2	Brannimpregnering	91,2 [kg/m ³]	20
REF	Naturlig gran	[-]	30

6.1.1 Resultat

Rapporten indikerer at intumescerende overflatebehandling (A1 og A2) har en signifikant effekt på massetapsraten for prøvestykkene. Reduksjonen i totalt massetap er opp mot 70 % ved 50 kW/m² brannpåkjenning sammenlignet med det ubehandlede prøvestykket (REF). Ved ISO 834 som brannpåkjenning er effekten enda større og prøvestykkene med intumescerende overflatebehandling viser opp mot 80 % reduksjon i totalt massetap.

En stor del av det opplevde massetapet på prøvestykkene med intumescerende overflatebehandling tilskrives vann som fordamper og at treverket i seg selv dermed har et enda mindre relativt massetap.

Arbeidet indikerer at den ikke-intumescerende brannmalingen (C1) og brannimpregneringen (C2) har relativt liten effekt på det totale massetapet ved begge brannpåkjenningene. Rapporten stiller spørsmål hvorvidt disse produktene er nyttig for å beskytte strukturelle elementer.

6.2 Brannhemmende overflatebehandling av tre – Wedvik

I 2011 utarbeidet Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU) ved Barbro Wedvik, på oppdrag fra Riksantikvaren, en rapport om brannhemmende overflatebehandling av tre [59].

Wedvik har ved bruk av kvalitative metoder gjennomført et litteraturstudium av tilgjengelige brannhemmende produkter på markedet. Rapporten fra NIKU ser ikke bare på de brannhemmende produktenes effekt mot brann, men også problemer rundt estetikk, vedlikehold og levetid. Dette er til en viss grad på siden av det *denne* rapporten ser på, men presenteres likevel for å påpeke et problemområde som affiserer tiltakene som beskrives i kapittel 6.1. Disse problemene vil i mye mindre grad gjelde tiltakene som er testet i dette arbeidet.

6.2.1 Resultat

Etter gjennomgang av tilgjengelig litteratur konkluderer Wedvik med at

- Langtidseffekten av brannhemmende impregnering vil medføre til en reduksjon av fasthetsegenskapene til trevirke og forvitring av overflaten.
- De mest effektive brannhemmende malingene er de som er intumescerende, som vil gi en kraftig oppsvulming like før den termiske nedbrytningen av trevirket oppstår.
- Brannhemmende maling og lakk vil forlenge gjennombrenningstiden, men noe usikkert hvor mye denne tiden økes da dette er lite dokumentert per dags dato (2011).
- Av de produktene som ble vurdert er det Envirograf HW som gir best dokumentert beskyttelse mot gjennombrenning, på henholdsvis 30 eller 60 minutter avhengig av tykkelse, tresort og struktur i trevirket.
- Brannhemmende maling og lakk har dårlige påføringsegenskaper, men en profesjonell maler kan likevel få til et godt resultat.

6.3 Oppsummering

Litteraturstudiet indikerer at bruk av ikke-intumescerende brannmaling og brannimpregnering vil ha begrenset effekt – om noen – på tid til gjennombrenning.

Forsøkene gjort av Kögl et al og litteraturstudien utført av Wedvik viser at intumescerende overflatebehandling har beviselig effekt på tid til gjennombrenning.

7 Diskusjon

7.1 Brannens validitet

Den simulerte brannen i testene skal framstille en rombrann som gjennom vekstfasen/overttenning har knust et vindu og dermed kan spre seg ut og opp langs fasaden. I en slik situasjon vil utvendige bygningsdeler over vinduet raskt utsettes for kraftig temperatur- og flammepåkjenning. Brannen måtte derfor konstrueres slik at den hadde en høy vekstrate, som samtidig nådde temperaturforhold sammenlignbare med en reell rombrann (se kapittel 2.2.6).

Det vurderes at brannen i forsøkene er en god tilnærming til det ønskede brannscenariet. Målt temperatur i brennkammeret ved testene viser at brannens temperaturutvikling er til dels sammenlignbar med ISO 834 (se kapittel 2.4.1), men med en innledningsvis høyere vekstrate og temperatur. Dette var også ønskelig ettersom ISO 834 beskriver en rombrann fra tidlig vekstfase, mens brannen i brannforsøket bare skulle simulere fullt utviklet brann.

Sammenlignet med andre brannspredningsmekanismer beskrevet i kapittel 2.2 er intern rombrann med spredning ut vindu den største påkjenningen for brannskallelementer. Det vurderes derfor at den simulerte brannen kan tilfredsstillende et «worst case»-scenario for brannskallelementene som testes. Åpningen («vinduet») i brennkammeret er bredt, og er designet for å gi en kraftig brannpåkjenning, ikke for å simulere et realistisk scenario spesifikt for Grip. Vinduene ved Grip er av mye mindre dimensjoner og dermed er trolig «worst case»-scenario brannpåkjenning fra nærliggende hus.

7.1.1 Sammenligning med SP Fire 105

Ved videre arbeid med brannskallelementer er det mulig at SP Fire 105 blir benyttet. Det er derfor valgt å skjele til denne metoden ved utforming av testoppsett.

Hvis en ser på den utregnede energiproduksjonen fra testene (figur 5.2, 5.5, 5.10 og 5.17) og energiproduksjonen fra SP Fire 105 (figur 2.4) kan en se at disse forsøkene er i tilnærmet samme størrelsesorden. Det er likevel vanskelig å sammenligne verdiene ettersom brannforsøkene er av ulik varighet, samt at enkelte «topper» er høyere enn for SP Fire 105. Den eneste tydelige sammenligningen er at den innledende vekstraten i brannforsøkene er høyere enn for SP Fire 105. Det er viktig å påpeke at energiproduksjon av brannen i disse forsøkene er basert på utregninger beskrevet i *Vedlegg B* og kan dermed inneholde feilkilder. I vedlegget ligger også en sensitivitetsanalyse rundt utregnet energiproduksjon.

Dimensjonene og brenselet benyttet i SP Fire 105 tilsier at energiproduksjonen i utgangspunktet kan bli langt høyere enn hva det framgår av figur 2.4. Årsaken til at den ikke er det, er fordi det blir benyttet en rist over brennkaret for å begrense tilbakestråling til brenselet. I brannforsøkene utført i forbindelse med denne rapporten blir det derimot gjort tiltak for å øke tilbakestrålingen. Dette er gjort ved å plassere brennkaret høyere i brennkammeret, som beskrevet i kapittel 4.5.1.

Det kan diskuteres om brannens størrelse burde vært skalert ned i forhold til SP Fire 105, med tanke på at testoppsettene var i mindre skala. Det ble vurdert at å oppnå en rask vekstrate til brannen var viktigere enn å opprettholde et «korrekt» forhold mellom brann og testoppsett. Dette for å få en best representasjon av brann ut knust vindu. Hvis det er ønskelig å simulere et scenario som beskrevet ovenfor, med en brann som knuser et vindu, stilles det spørsmål til om designet av SP Fire 105 gir en tilfredsstillende brannvekst.

Det kan være at andre standardiserte testmetoder kan gi en bedre simulering av nevnt brannscenario, men dette er ikke undersøkt.

7.2 Feilkilder

I kapittel 4.1 diskuteres problemer og feilkilder rundt valgt metode. I tillegg diskuteres spesifikke feilkilder for hver test i sine respektive kapittel i kapittel 5. Det er dog enkelte feilkilder som en gjennomgående for alle testene.

7.2.1 Temperaturmålinger

Det blir i testene plassert ut termoelementer som beskrevet for hver test (se kapittel 5.1.1, 5.2.1, 5.3.1 og 5.4.1). Disse måler temperaturen i ett spesifikt punkt og gir dermed ikke det komplette bilde av temperaturforholdene i området de er plassert i. Resultater av temperaturmålinger er derfor gjennomgående presentert som «målt temperatur», og det er viktig å innse denne begrensningen.

Det nyttes kun ett termoelement ved punktmålingene (foruten i brennkammer). Årsaken til dette var begrenset tilgang på termoelementer, samtidig med et ønske om å være mest mulig effektiv under instrumentering. Det var også vanskelig å planlegge dette i forkant av testene ettersom designet av enkelte av testtriggene ble bestemt underveis i byggingen.

Temperaturmålerne ble bekreftet funksjonell før teststart ved å kontrollere at målte temperaturer (omgivelsestemperatur) samsvarte med hverandre. Det er likevel en svakhet at det kun ble benyttet én måler i hvert interesseområde. De presenterte målingene blir likevel understøttet av observasjoner under testene og av videomateriale. Ved videre testing kan det være en idé å benytte et varmekamera som gir et kontinuerlig bilde av temperatursituasjonen, der dette er mulig. Dette kan gi verdifull informasjon omkring brannbelastning.

7.2.2 Materialer

Trevirket som er benyttet i testene ble forsøkt holdt så tørt som mulig. Det ble ikke gjort noen fuktmålinger av trevirket før testene ble igangsatt, noe som hadde vært en enkel måte å forvisse seg om at testelementene var fuktbelastet i samme grad.

Under byggingen av Test 3 og Test 4 var det bygeaktivitet i området og konstruksjonene ble utsatt for nedbør. Det ble vurdert at konstruksjonene i sin helhet ble like mye eksponert og at sammenligningsgrunnlaget fremdeles var gyldig, men ingen konkrete målinger ble altså gjort for å verifisere dette. Ved lignende tester i fremtiden vil en fuktmåler være et nyttig instrument for å bekrefte sammenligningsgrunnlaget mellom testelementer i tillegg til å gi konkrete tallverdier til trevirkets fuktinnhold.

Det er i alle forsøkene benyttet umalt trevirke. Trevirket var i tillegg helt nytt og uten skader. Det er heller ikke benyttet vindspærre bak kledning eller plassert andre brennbare materialer på ueksponert side av testelementene. Dette er selvfølgelig ikke realistisk i forhold til et genuint byggverk. Dette vurderes likevel som uproblematisk med tanke på at alle tider til gjennombrenning kun sammenlignes mellom de ulike løsningene. Å holde antall variabler på et så lavt nivå som mulig var viktig med tanke på at testene allerede foregikk utendørs med de utfordringer dette medførte. For videre testing kan det være interessant å se hvilken effekt disse faktorene utgjør.

7.3 Kledning

Resultatene fra Test 1 indikerer at forankringspunkter (spikerfester) kan være et svak punkt ved en tømmermannskledning. Dette blir ikke understøttet av Test 3, og det kan derfor diskuteres om en eventuell gjennombrenning i vanlig tømmermannskledning vil skje på grunn av andre svakheter i konstruksjonen.

I Test 1 blir kledningen konstruert uten lufting for å representere et tilfeldig segment av kledningen midt på en vegg. Vanlig tømmermannskledning utføres med luftespalter i topp og bunn, noe som betyr at den termiske belastningen på spikerfestene i øvre del av testelementene er usannsynlig og ikke representativ for denne typen kledning. Dette kommer også fram av resultatene i Test 3, der spikerfestene ikke svikter. Det skal likevel nevnes at takutstikket i topp av Test 3 ikke er like dominerende på testtriggen som ved Test 1 og at testtriggen ved Test 3 er dobbelt så høy som ved Test 1.

For kledning montert direkte opp til underkledning i takfot, slik som ved Grip, er derimot termisk belastning av spikerfestene en aktuell problemstilling. Her kan resultatene fra Test 1 og Test 3 til en viss grad diskuteres opp mot hverandre, ettersom utførelsen er relativt lik i øvre del av testelementene (testelement B og C ved Test 1 og testelement B ved Test 3). Forskjellen er tidligere nevnte horisontale utstikk på toppen av testtriggen, samt høyde over brennkammer. Antageligvis er Test 1 i størst grad representativ for Grip med tanke på høyde fra vindu til takfot. Diskusjonen fra Test 1 (se kapittel 5.1.10) påpeker likevel svakheter ved testen, da spesielt med tanke på forankringsmidler, som ikke samsvarer med realiteten ved Grip, og det er derfor vanskelig å si noe om den reelle gjennombrenningstiden i øvre del av kledningen ved Grip.

Ved undersøkelser av gjenværende materiale fra Test 1 observeres det at bredden av omleggene har krympet tilsvarende med tykkelsen av overligger og underligger på grunn av forkulling. Dette problemet understøttes ved undersøkelse av gjenværende materiale fra Test 3 der det har oppstått sprekk i et av omleggene. I dette tilfellet er testelement C ved Test 1 og testelement B1 ved Test 3 sammenlignbare da utførelsen av selve kledningen er lik.

7.3.1 Effekt av tiltak

Effekten av økt tykkelse på trebord viser seg i Test 1. Testelementet med 19 mm kledningstykkelse er ikke tilgjengelig for inspeksjon etter endt brannforløp da det ikke eksisterer gjenværende materialer, til motsetning fra testelementene med 35 mm kledningstykkelse der alle trebord er tilgjengelig for inspeksjon etter endt brannforløp. Dette resultatet alene indikerer at økt tykkelse på trebord er et effektiv tiltak. Test 1 var dessverre noe uheldig utformet, da det svakeste testelementet ble utsatt for den største belastningen. Det er derfor vanskelig å konkludere med hvor stor effekt økt kledningstykkelse har, men det er av teorien beskrevet i kapittel 2.1.1 mulig å estimere effekten med en god faglig dekning.

Som brannskallelement er trolig kledning et av de mer robuste elementene med tanke på brannspredning til baksiden, men dette gjelder bare hvis kledningen er «tett». Ved gliper i kledningen, enten på grunn av naturlig bevegelse i trevirket over tid eller ved svikt i spikerfester under brannpåkjenning, vil tettheten til brannskallet være kompromittert. Intumescentbånd vil trolig bidra til å redusere risikoen for dette. I Test 1 blir også effekten av dette tiltaket testet, men virkningen av båndene kommer ikke tydelig fram. Årsaken til dette er trolig at kledningene i Test 1 bestod av helt nye, ubrukte trebord, og var fri for slitasjeproblematikk.

Videre spekuleres det i om bruk av intumescentbåndene kan skape stress ved spikerfestene når intumescentmassen ekspanderer. Dette kan i så fall øke faren for at trebord løsner og skaper gliper i kledningen. Under Test 1 blir det også observert sotdannelse på baksiden av testelementet med intumescentbånd på et tidlig stadium. Dette kan være med på å underbygge denne hypotesen, men det blir likevel registrert at gjennombrenning skjer omtrent likt ved 35 mm kledning med og uten intumescentbånd (B og C). Dette er en problemstilling som det er verdt å vurdere ved videre testing.

Det er viktig å påpeke at bruk av ett tiltak ikke utelukker bruk av andre tiltak. Faktorer som økonomi, krav til vedlikehold og bevaring av estetikk vil selvfølgelig være viktige ved valg av tiltak, men en dypere diskusjon rundt disse faktorene ligger utenfor denne rapportens omfang.

Benyttede tiltak i Test 1 hindrer ikke at selve kledningen blir antent. Antennelse og brann i kledningen vil bidra til økt belastning på brannskallet. Bruk av enkelte tiltak beskrevet i litteraturstudiet kan utsette eller hindre antennelse av kledningen og dermed også hindre økt brannpåkjenning. Brann i kledning kan også føre til økt stråling og økt fare for direkte flammespredning mot nærliggende bygg.

Det vurderes at intumescerende brannmaling kan ha en lignende effekt som økt tykkelse av kledning for å øke tid til gjennombrenning fordi det minsker massetapsraten. Hvilket tiltak som er «mest effektivt» er ikke mulig å konkludere med ut ifra den informasjonen testene og litteraturstudiet har gitt. Økt tykkelse på kledning har dog ikke problemområdene rundt forvitring og endring av underliggende materiale slik brannhemmende produkter har.

7.4 Takfot

Brannsmitte til loftsrom er et anerkjent problem da de generelt har få eller ingen skiller, samtidig som det ofte blir benyttet som lagerplass for materialer med lett tilgjengelig brannenergi. Dermed fremstår takfot som et brannskallelement som er av ekstra betydning å sikre.

Resultatene fra Test 2 viser at en takfot kan være et svært sårbart punkt i brannskallet. I testelementet som representerer «Grip før» blir det ikke gjort tiltak for å tette skjøter mellom trebord og gjennombrenning finner sted i løpet av kort tid. Denne løsningen kan sammenlignes med å være like brannsikker som ubeskyttet åpning/kun bruk av stålnetting (testelement K og L) fra Test 4, der gjennombrenning skjer noe raskere.

Test 2 viser for øvrig at tiltakene ved «Grip etter» fører til en helt annen dimensjon av beskyttelse mot gjennombrenning. Det blir i kapittel 5.2.9 beskrevet at gjennombrenning ved «Grip etter» skjer etter ca. 25 minutter. Som beskrevet i kapittel 5.2.10 er det manglende deler ved testelementet i forhold til den reelle utformingen, men i hvor stor grad dette påvirker resultatet spekuleres ikke over. Ved videre arbeid bør testelementene gjenskape virkeligheten på best mulig vis, slik at resultatene kan anvendes i større grad.

I figur 5.7 blir det vist at målt temperatur under testelement B «Grip etter» er gjennomgående høy, med temperaturer opp mot 1200 °C frem til gjennombrenning. Denne belastningen kan være i overkant høy i forhold til det som er realistisk. Det hadde vært interessant å sammenligne de målte temperaturene under testelementene i Test 2 med temperaturen under de horisontale gipsplatene i Test 1, men dette var ikke et fokus i Test 1 og det ble derfor heller ikke montert termoelementer i det aktuelle området.

7.4.1 Effekt av tiltak

Det blir i Test 2 benyttet intumescentbånd i skjøter mellom underkledning og forkantbord ved testelementet «Grip etter». Det er ikke klart av testen hvor stor påvirkning disse båndene har på tettheten av takfoten, men sannsynligvis hjelper de til med å bevare beskyttelsen av bakenforliggende materiale ved at det ikke dannes gliper mellom underkledningen.

Videre viser resultatene fra Test 2 at økt tykkelse på trebordene i underkledningen, samtidig som skjøtene er sikret med intumescentbånd, øker tiden til gjennombrenning betraktelig. Ved sammenligning av gjennombrenningstid for «Grip før» og «Grip etter» blir det klart at gjennombrenningstiden er forbedret med minst en faktor på 20.

Tiltak omtalt i litteraturstudiet kan også øke tiden til gjennombrenning, men bare hvis takfoten er utført helt tett, slik at flammer og varme gasser ikke trenger igjennom på et tidlig tidspunkt. Å påføre beskyttende produkter på en lignende takfot som testelement A («Grip før») i Test 2 vil trolig ha liten eller ingen effekt med tanke på brannspredning bak brannskallelementet.

7.5 Tilslutninger

I Test 3 ble det sett på tid til gjennombrenning til hulrom bak tømmermannskledning ved ulik utførelse av tilslutning mellom kledning og vindu/grunnmur. Det ble totalt testet fire ulike tilslutningsløsninger/testelementer, der forskjellen mellom disse baserte seg på metoden for lufting av hulrommet. To av løsningene hadde et kontinuerlig luftrom bak kledningen, mens de to andre løsningene kun hadde et begrenset luftrom bak kledningen. For de to løsningene med kontinuerlig luftrom bak kledningen var tanken at dette skulle representere ulike metoder for lufting av «vanlig» tømmermannskledning. Den store forskjellen mellom disse to testelementene (A og C) var at den ene ble utført med en luftespalte på 5 mm (C), mens den andre ble utført med en luftespalte på 12 mm (A). De to løsningene med begrenset luftrom skulle representere kledningen på Grip før og etter den branntekniske utbedringen. For begge testelementene bestod tilslutningen hovedsakelig av et 50 mm tykt vannbord. Ved «Grip før» (B1) var det ingen endringer i dette prinsippet, mens i «Grip etter» (B2) var det blitt boret to hull med 12 mm diameter under luftrommet, samt at det var installert FB Hulromsventil.

Resultatet fra Test 3 indikerer at en kledning med 5 mm (C) luftespalte har langt bedre motstand mot gjennombrenning enn kledning med 12 mm (A) luftespalte. Selv med betraktelig høyere brannpåkjenning er det ikke målt rask temperaturøkning bak C gjennom testens forløp. A derimot opplevde gjennombrenning før det var gått 2 minutter. Det er faktisk mulig at det er dimensjonene på den nederste horisontale lekten ved C som blir avgjørende for tid til gjennombrenning hos dette testelementet. Denne hypotesen stammer fra undersøkelser av gjenværende materiale. I tillegg kommer det fram et interessant poeng i kapittel 5.3.10 der det diskuteres om akkumulering av varme gasser i overkant av testelement C påvirker gjennombrenningstiden. For videre arbeid er dette interessante poeng. I tillegg kan det være interessant å finne ut hvor «grensen» går for slike luftespalter.

Videre indikerer resultatene fra Test 3 at tiltakene som er utført ved Grip ikke har svekket motstanden mot gjennombrenning, selv om det er boret hull i vannbordet. Det skal nevnes at «Grip før» har tegn på gjennombrenning i omlegg, men dette er ikke et interessant poeng for tilslutningen og er omhandlet i diskusjonen i kapittel 7.3. For øvrig er det ikke tegn til gjennombrenning i tilslutningsløsningen for hverken «Grip før» eller «Grip etter».

7.5.1 Effekt av tiltak

Test 3 gir indikasjoner på at lufting av kledning enkelt kan bli mer brannsikkert ved å redusere luftespalten. Videre testing er nødvendig for å vurdere feilkilder og for å bekrefte denne indikasjonen. Lufting bak eldre kledninger som tidligere har vært uluftet virker å være godt beskyttet hvis det benyttes en utførelse liknende den ved Grip.

Viktigheten av å beskytte hulrom mot gjennombrenning er beskrevet i kapittel 3.1.1. Det kan være avgjørende for brannvesenets evne til effektivt å slukke brann, at den ikke sprer seg til hulrom. En eventuell brann i hulrom kan spre seg veldig raskt. Overnevnte beskrivelser av tiltak viser at relativt enkle endringer kan gi robuste løsninger.

7.6 Åpninger og ventiler

I Test 4 utprøves løsninger for lufting av bygg/bygningsdeler. Testen avsluttes etter 14 minutter på grunn av skifte i værforhold, men flere av testelementene er allerede før dette tidspunktet påvirket av uønsket brannsmitte på baksiden av testtriggen. På grunn av nevnte forhold er resultatene fra Test 4 amputerte.

Den uønskede brannsmitten i Test 4 kommer som følge av utilfredsstillende lufteløsninger for takfot. Det er to løsninger som anses å ha ingen eller liten grad av brannmotstand – testelement K (stålnetting) og L (ubeskyttet åpning). Selv om det oppgis tid til gjennombrenning for disse testelementene, så virker det som om denne tiden kun er avhengig av hvor lang tid flammene bruker på å forplante seg fra brennkammeret og opp til takfoten. Det kan derfor diskuteres om disse løsningene i praksis egentlig ikke har noen tid til gjennombrenning.

Ved enkelte av de utprøvde hulromsventilene i Test 4 (testelement B, C, D og E) blir det observert flammekast i begrenset omfang. Temperaturmålinger i bakkant/ueksponert side av testelementene indikerer temperaturer mellom 100 og 300 °C, der de høyeste temperaturene samsvarer tidsmessig med observerte flammekast. Konsekvensen av temperatur og flammekast vil være avhengig av hva som befinner seg bak ventilene. Det er sannsynlig at observerte flammer bak testelement B, C, D og E er et resultat av brannsmitte fra K og L. Resultatene må likevel presenteres.

Det må påpekes at ventilene fremstår som svært robuste produkter når de er «aktiverte», og at det for enkelte av ventilene er tvilsomt at brennbart materiale har anledning til å antenne med bakgrunn i det korte tidsrommet flammen er til stede. Dette diskuteres også i kapittel 5.4.10, hvor det også nevnes at ventilene trolig kan være sterkere enn det omhyllende treverket.

Test 4 viser at beskyttelse mot brannspredning ved bruk av hulromsventiler kan bli betydelig økt, selv om testens resultater gjør det vanskelig å konkludere. Ut i fra det som er observert anbefales det å ha «rene» områder bak ventiler, selv om de har klassifisering mot brann. Det bør hindres at det kan akkumuleres støv, blader eller lignende i områder rundt ventiler samtidig som gardiner o.l. bør være montert i trygg avstand.

I Test 4 testes også én overstrømsventil (testelement A_V og A_H) på to ulike steder i testtriggen. Den ene ble montert i takfoten (A_H) og den andre i veggen (A_V). Dette er en ventil som i utgangspunktet kun er godkjent for montering i vegg i forbindelse med brannsikring av friskluftsentil. Det var likevel kun A_V av de to som slapp inn flammekast – riktignok bare av ett sekunds varighet. Det skal nevnes at denne ventilen i utgangspunktet ikke var helt korrekt montert ettersom det ikke var montert klaffventil på baksiden/ueksponert side. Dette ble vurdert som en simulering av åpen klaffventil og resultatet anses derfor gyldig.

Det hadde vært interessant å se hvordan overstrømsventilene hadde reagert på brannpåkjenning uten stålrist med gnistfanger mot eksponert side. Dette er et scenario som kan sammenlignes med en av ventilasjonsåpningene på Grip (se kapittel 4.4.3 / figur 4.9) der kun en rist bestående av trelister ligger utenpå ventilen. Det antas at selv om denne ventilen benyttes kun for seg selv, så er det en god løsning. Dette burde likevel vært testet, og er en oppfordring til videre arbeid. Det er også synd at Av ikke ble sammenlignet mot en helt åpen, ubeskyttet åpning av samme dimensjoner for å ha en referanse, men dette kunne ha ført til lignende problemer som ved testelement K og L. Det kan også diskuteres om det er nødvendig med en slik referanse, ettersom gjennombrenning sannsynligvis vil finne sted umiddelbart ved flammepåkjenning.

7.7 Andre brannspredningsmekanismer

Testene simulerer som tidligere nevnt en intern rombrann med spredning ut vinduet. Dette blir vurdert som «worst case»-scenario for alle testelementene. Det er i oppgaven sett på gjennombrenningstid – ikke tid til antennelse. Det er likevel verdt å vurdere om andre brannspredningsmekanismer kan føre til andre resultater.

Ved en flyvebrann vil gnister kunne trenge igjennom åpninger i brannskallet. Dette vil i henhold til denne oppgaven ikke være definert som tid til gjennombrenning, ettersom det ikke er flammer som bryter igjennom barrieren. For flyvebrann bør det derfor vurderes andre metoder for å finne tid til gjennombrenning, ettersom antennelse som følge av gnister fra flyvebrann vil være avhengig av energien i gnistene samt hvor de lander. En antennelse på innsiden av konstruksjonen som følge av gnister vil definere at gjennombrenning har skjedd, mens gnister som dør ut før de kan gjøre skade vil ikke ha forårsaket gjennombrenning. Dette er en problemstilling for videre arbeid.

For varmestråling, konduksjon og konveksjon vil problemstillingen med tid til gjennombrenning være lik som for flyvebrann. Spørsmålet er det samme – om materialer på innsiden av brannskallet kan antenne som følge av eksponering for de respektive brannspredningsmekanismene. Det er mulig at dette i større grad kan beregnes for de tre sistnevnte mekanismene, men dette er også en problemstilling for videre arbeid.

7.8 Brannskallet som helhet og applikasjonsområder for tiltak

Det er i denne rapporten kun sett på utvalgte elementer i brannskallet, og det er derfor ikke forsvarlig å gjøre faglige vurderinger rundt brannskallet som helhet. Rapporten viser likevel et behov for å se elementene i seg selv som en enhet, og at tilslutningen mellom elementene er en viktig detalj i tettheten av brannskallet. Testene indikerer at brannspredning gjennom elementene går gjennom det svakeste leddet. Det er derfor ikke unaturlig å konkludere med at passive brannsikringstiltak for å utbedre en bygningens brannsikkerhet, bør vurderes på brannskallet som en helhet for å oppnå en tilfredsstillende effekt. Aktive brannsikringstiltak som kan øke brannsikkerheten til et bygg er ikke omtalt i rapporten, men er selvfølgelig veldig aktuelt for å sikre et brannskall og er et tema for videre arbeid.

Det ble i Stortingsmelding nr. 41 (2000-2001) [60] satt en overordnet nasjonal målsetning om at branner med tap av uerstattelige nasjonale kulturverdier ikke skal forekomme. Inn under denne definisjonen faller ca. 6000 enkeltstående bygninger samt mange verneverdige trehusmiljøer [61]. Det virker åpenbart at alle tiltakene som er vurdert i denne rapporten vil være bidragsytende til å nærme seg denne svært ambisiøse null-visjonen og er reelle alternativer for å brannsikre nasjonale kulturverdier.

Som tidligere nevnt er spesifikke vurderinger rundt økonomi utenfor denne oppgavens omfang. Enkle observasjoner foretas likevel for å indikere andre applikasjonsområder for tiltakene som er beskrevet. Generelt må behovet for utbedring av brannskallet vurderes ut ifra byggets størrelse, posisjon i forhold til nærliggende bygg og andre objekter som kan medføre brannsmitte i tillegg til egenverdien av bygget. Indeksmetoden utviklet av Jarnskjold (se kapittel 1.2) er i så måte et utmerket utgangspunkt for å vurdere behovene for tiltak.

Å øke tykkelsen på kledning er et tiltak som gir konkret og målbar økning i tid til gjennombrenning. Dette vurderes som et tiltak som har positiv kost/nytte-verdi i det totale bilde hvis det skal oppføres ny kledning eller skifte eksisterende.

Test 3 indikerer at en 5 mm luftespalte kan gi betraktelig økt sikkerhet mot gjennombrenning til hulrom bak kledning. Dette er et tiltak som åpenbart vil ha lav kostnadsøkning i forhold til 12 mm luftespalte. Hvis videre testing bekrefter indikasjonene gjort i dette arbeidet kan dette være et tiltak som har høy kost/nytte effekt også på alle nyere bygninger med fasader av tre.

Løsningene som beskrives for lufting av bygg og bygningsdeler vil være effektive tiltak for å øke brannsikkerheten ved et bygg. Bygninger med forskjellige boenheter over flere etasjer vil være spesielt aktuelle for slike tiltak. Det samme kan sies om bygg i tett bebyggelse, i tillegg til bygninger som har omliggende fauna som kan gi brannpåkjenninger. Sikring av åpninger/ventiler vil være aktuelle uansett hvilke materialer som er brukt i fasaden – ikke bare fasader av tre.

8 Konklusjon

Den overordnede konklusjonen etter drøfting rundt resultatene fra testene er at lite heldige byggetekniske løsninger, med tanke på brannsikkerhet, gir kort tid til gjennombrenning i brannskallet. Det konkluderes også med at relativt enkle tiltak vil ha god effekt på å øke motstand mot gjennombrenning, samt tetthet av brannskallet. Resultatene viser at det er viktig å vurdere elementene i brannskallet som en enhet, og ikke bare den teoretiske motstanden til materialene som utgjør elementet. I utformingen av brannskallelementer er det derfor viktig å dimensjonere alle detaljer for å ivareta den ønskede motstandstiden mot gjennombrenning. Samtidig må også brannskallet sees som en helhet da det er av begrenset verdi å utføre tiltak kun på enkelte brannskallelementer.

8.1 Kledning

Tester av tømmermannskledning viser at detaljer ved utførelse kan ha stor betydning for tettheten av brannskallet, og dermed brannsikkerheten. Det legges spesielt vekt på at omlegg mellom overligger og underligger bør dimensjoneres med samme bredde som tykkelsen av trebordene. For andre detaljer, som for eksempel forankringspunkt/spikerfeste, er det ikke mulig å trekke klare konklusjoner da resultatene fra to av testene ikke understøtter hverandre.

Videre konkluderes det med at økt tykkelse på trebord vil gi økt motstand mot gjennombrenning i selve treverket, så lenge detaljene (omlegg) er ivaretatt.

Intumescerende brannmaling kan gi en liknende effekt som økt tykkelse av kledning, men kan også ha en forvitrende effekt på materialet det er satt til å beskytte over tid.

8.2 Takfot

Tester av takfot viser at økt materialtykkelse/forsterkning av underkledning i kombinasjon med intumescentbånd vil gi økt tetthet av brannskallet, øke tid til gjennombrenning og dermed øke brannsikkerheten.

Intumescerende brannmaling kan være et alternativ hvis andre tiltak blir gjort for å forsikre at takfoten er konstruert tett.

8.3 Tilslutninger

Tester av tilslutningsløsninger viser at ulik utførelse av tilslutning mellom vegg og vindu/grunnmur kan ha stor betydning for brannsikkerheten.

For tilslutninger med kontinuerlig luftespalte indikeres det gjennom tester at redusert bredde på luftespalte gir økt sikkerhet mot gjennombrenning.

For tilslutninger som utføres tett ved bruk av vannbord er gjennombrenningstiden avhengig av tykkelsen på vannbordet. I de tilfeller der lufting anordnes ved å bore hull i vannbordet er bruk av hulromsventil et godt tiltak for å ivareta tettheten av brannskallet.

8.4 Åpninger og ventiler

Tester av åpninger og ventiler indikerer at ventiler designet med brannmotstand er gode og robuste løsninger, men utførte tester er mangelfulle og gjør det vanskelig å konkludere.

Ventilene kan egne seg godt som en tilslutningsdetalj ved lufteløsninger i både kledning og takfot, så vel som friskluftsventiler.

9 Videre arbeid

Fra diskusjon i øvrige kapitler gis følgende råd og forslag til videre arbeid:

- Ved utforming av testelementer med hensyn på brannskallsikring, er det viktig å ivareta bygningsmessige detaljer for å kunne gi en virkelighetstro vurdering av brannskallelementet. Dette være seg detaljer som spiker/skruer, takrenner, o.l.
- Det kan være nyttig å gjøre bruk av varmekamera for å få en bedre oversikt over temperaturpåkjenninger.
- Det kan være nyttig å gjøre bruk av fuktmåler for å bekrefte sammenligningsgrunnlaget mellom testelementer i tillegg til å gi konkrete tallverdier til trevirkets fuktinnhold.
- Det kan være interessant å undersøke om intumescentbånd kan skape stress på omlegg og spikerfester når intumescentmassen ekspandere. Det er også aktuelt å teste effekten av intumescentbånd i eldre, slitt trekledning.
- Det kan være interessant å undersøke ved hvilken bredde redusert luftespalte først gir effekt mot brannpåkjenning, ved tilslutningsløsning mellom kledning og vindu/grunnmur.
- Det kan være interessant å undersøke effekten av akkumulerte varme gasser i overkant av kledning med redusert luftespalte, og om en lavere brannpåkjenning vil gi redusert tid til gjennombrenning.
- Det kan være interessant å se effekten av hulromsventil i luftespalte ved liknende brannpåkjenning som i denne oppgaven
- Det kan være interessant å se effekten av overstrømsventil i vegg uten stålrister med gnistfanger ved liknende brannpåkjenning som i denne oppgaven.
- Det bør ses på brannsikring av brannskall ved hjelp av aktive brannsikringstiltak.

Referanser

- [1] I. Staurheim, «Hvordan bekjempe fasadebrann med passiv brannsikring i norske kirkebygg?», *Brannmannen*, nr. 1, 2015.
- [2] G. Jensen, Forfatter, *Innspill tester brannskall HVL ResQ mars 2017*. [Performance]. COWI, 2017.
- [3] N. M. T. Jarnskjold, *Brannskallsikring i tett trehusmiljø*, Trondheim: NTNU, 2015.
- [4] Kirkesøk, «Grip stavkirke», Kirkesøk, [Internett]. Available: <http://www.kirkesok.no/kirkesok/kirker/Grip-stavkirke>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [5] NRK Møre og Romsdal, «Her er det fare for storbrann i trehusbebyggelse», NRK, 19 Januar 2014. [Internett]. Available: <https://www.nrk.no/mr/tett-trehusbebyggelse-i-hele-norge-1.11480684>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [6] P. L. i Puntabyrgi og R. T. Lervik, «Grip stave church - Fire protection upgrade», Lervike AS, Tingvoll/Jordalsgrenda, 2016.
- [7] G. Jensen, Forfatter, *Trefasader som ikke sprer brann*. [Performance]. COWI, 2016.
- [8] R. Flatland, «FOKUS på tre nr. 42 - Tradisjonsbaserte byggemetoder», TreFokus, Juli 2007. [Internett]. Available: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/42-Tradisjonsbaserte-byggemetoder.pdf>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [9] K. I. Edvardsen og T. Ø. Ramstad, *Trehus*, Oslo: SINTEF akademisk forlag, 2014.
- [10] SINTEF Byggforsk, «725.012: Bærekonstruksjoner av tre for tak i eldre boligbygninger», SINTEF Byggforsk, Februar 2017. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/682/baerekonstruksjoner_av_tre_for_tak_i_eldre_boligbygninger. [Funnet 30 Mars 2017].
- [11] SINTEF Byggforsk, «520.308: Yttervegger og tak i trehus med 30 minutters brannmotstand», SINTEF Byggforsk, November 2010. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/313/yttervegger_og_tak_i_trehus_med_30_minuters_brannmotstand. [Funnet 30 Mars 2017].
- [12] Teknisk Hygienisk Forum, «Inneklima: En veileder for kommunehelsetjenesten», Helsetilsynet, 30 August 1999. [Internett]. Available: https://www.helsetilsynet.no/upload/Publikasjoner/veiledningsserien/inneklima_veileder_kommunehelsetj_ik-2489.pdf. [Funnet 30 Mars 2017].
- [13] B. Östman, *Brandsäkra trähus 3*, Stockholm: SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, 2012.
- [14] K. L. Friquin, «Material properties and external factors influencing the charring rate of solid wood and glue-laminated timber», *Fire and materials*, pp. 303-327, 23 November 2010.

-
- [15] Treteknisk, «Trevirkets egenskaper,» i *Treteknisk håndbok*, Oslo, Norsk Treteknisk Institutt, 2009, pp. 20-43.
- [16] B. C. Hagen, *Grunnleggende brannteknikk*, Haugesund, 2004.
- [17] E. Carlsson, «External fire spread to adjoining buildings - A review of fire safety design guidance and related research,» Lund University - Department of Fire Safety Engineering, Lund, 1999.
- [18] A. Steen-Hansen, A. G. Bøe, K. Hox, R. F. Mikalsen, J. P. Stensaas og K. Storesund, «Hva kan vi lære av brannen i Lærdal i januar 2014? Vurdering av brannspredningen.,» SP Fire Research AS, Trondheim, 2014.
- [19] S. L. Manzello, S. Suzuki og Y. Hayashi, «Enabling the study of structure vulnerabilities to ignition from wind driven firebrand shower: A summary of experimental results,» *Fire Safety Journal - Elsevier Ltd*, 2012.
- [20] E. Koo, P. J. Pagni, D. R. Weise og J. P. Woycheese, «Firebrands and spotting ignition in large-scale fires,» i *International Journal of Wildland Fire*, Clayton, CSIRO PUBLISHING, 2010, pp. 818-843.
- [21] S. Yokoi, «Study on the Prevention of Fire-Spread Caused by Hot Upward Current,» The Building Research Institute, Ministry of Construction, 1960.
- [22] J. P. Stensaas, «Klassifisering av risikoen for brannspredning mellom hus i tettbygde områder,» SINTEF Energi - Norges branntekniske laboratorium, Trondheim, 1997.
- [23] B. Karlsson og J. G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, Boca Raton: CRC Press, 1999.
- [24] SINTEF Byggforsk, «520.310: Brannspredning via fasader,» SINTEF Byggforsk, Oktober 2006. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/3256/brannspredning_via_fasader. [Funnet 1 April 2017].
- [25] Takprodusentenes Forskningsgruppe; SINTEF Byggforsk, *Branntekniske konstruksjoner for tak*, Trondheim: Norges byggforskningsinstitutt, 2011.
- [26] D. Drysdale, *An Introduction to Fire Dynamics*, Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- [27] H. Koseki og G. W. Mulholland, «The effect of diameter on the burning of crude oil pool fires,» *Fire Technology*, nr. 27, pp. 54-65, 1991.
- [28] A. Tewarson, «Heat release rate in diffusion flames,» *Thermochimica Acta*, nr. 278, pp. 19-37, 1996.
- [29] P. van Hees, *SP AR 2000:39 Semi-natural fire test for facades and curtain walling systems*, Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute, 2000.
-

-
- [30] Department of Fire Technology, *SP Fire 105 - External wall assemblies and facade claddings*, Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute, 1994.
- [31] Securo, «Brannskallsikring,» Securo, [Internett]. Available: <https://securo.no/2016/06/03/brannskallsikring/>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [32] SINTEF Byggforsk, «742.111: Eldre utvendig bordkledning. Profiler og utførelse,» SINTEF Byggforsk, August 2016. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/711/eldre_utvendig_bordkledning_profiler_og_utfoerelse. [Funnet 30 Mars 2017].
- [33] SINTEF Byggforsk, «542.003: Totrinnstetning mot slagregn på fasader. Luftede kledninger og fuger,» SINTEF Byggforsk, Desember 2013. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/470/totrinnstetning_mot_slagregn_paa_fasader_luftede_kledninger_og_fuger. [Funnet 30 Mars 2017].
- [34] SINTEF Byggforsk, «542.101: Stående trekledning,» SINTEF Byggforsk, Oktober 2011. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/472/staaende_trekledning. [Funnet 30 Mars 2017].
- [35] A. Øvrum, «FOKUS på tre nr. 22 - Uvendig kledning,» TreFokus, Oktober 2002. [Internett]. Available: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/22-Utvendig-kledning.pdf>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [36] SN/K 097, *Heltrekledning av bartre til utvendig bruk*, Standard Norge, 2008.
- [37] S. Colwell, J. Bregulla og R. Cullinan, «Fire safety of external timber wall facades,» i *Interflam 2007*, London, Interscience Communications Ltd, 2007, pp. 771-776.
- [38] K. Nore og F. G. Evans, «FOKUS på tre nr. 53 - Konstruktiv trebeskyttelse,» TreFokus, Januar 2012. [Internett]. Available: http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/Fokus_nr_53_MIYca.pdf. [Funnet 30 Mars 2017].
- [39] SINTEF Byggforsk, «700.620: Brannsikring av eldre, tett trehusbebyggelse,» SINTEF Byggforsk, August 2007. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/2627/brannsikring_av_eldre_tett_trehusbebyggelse. [Funnet 18 April 2017].
- [40] SINTEF Byggforsk, «525.002: Takkonstruksjoner. Valg av taktype og konstruksjonsprinsipper,» SINTEF Byggforsk, September 2007. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/381/takkonstruksjoner_valg_av_taktype_og_konstruksjonsprinsipper. [Funnet 30 Mars 2017].
- [41] SINTEF Byggforsk, «525.106: Skrå tretak med kaldt loft,» SINTEF Byggforsk, November 2005. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/385/skraa_tretak_med_kaldt_loft. [Funnet 30 Mars 2017].
-

-
- [42] SINTEF Byggforsk, «536.215: Ytterveggsventiler - Lydisolasjonsegenskaper,» SINTEF Byggforsk, November 2010. [Internett]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/452/ytterveggsventiler_lydisolasjonsegenskaper. [Funnet 30 Mars 2017].
- [43] ResQ, «Om ResQ,» ResQ, [Internett]. Available: <http://www.resq.no/om-resq>. [Funnet 26 April 2017].
- [44] Securo, «Om oss,» Securo, [Internett]. Available: <http://securo.no/om-oss/>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [45] Securo, «Teknologi,» Securo, [Internett]. Available: <http://securo.no/teknologi/>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [46] Securo, *FB Overstrømsventil produktdatablad versjon 1.1*, Verdal: Securo, 2013.
- [47] Securo, *FB Hulromsventil produktdatablad versjon 1.2*, Verdal: Securo, 2014.
- [48] Securo, *FB Miniventil produktdatablad versjon 1.0*, Verdal: Securo, 2017.
- [49] Intumescent Seals, *Therm-A-Flex Product Data Sheet*, Cambridge: Intumescent Seals.
- [50] Securo, *FB Hulromsventil brosjyre*, Verdal: Securo.
- [51] Securo, *FB Overstrømsventil brosjyre*, Verdal: Securo.
- [52] Securo, «Overstrømsventil,» Securo, [Internett]. Available: <http://securo.no/produkter/overstroms/>. [Funnet 30 Mars 2017].
- [53] Riksantikvaren, «Grip stavkyrkje - Dokumentasjon av stavkyrkjeprogrammet,» Riksantikvaren, Oslo, 2016.
- [54] H. Aarset, *Grip stavkirke - Mulighetsstudie passive brannsikringstiltak*, Sjøholt: Helge Aarset - Sivilarkitekt MNAL, 2014.
- [55] R. T. Lervik, Interviewee, *Kommentarer til testrigg*. [Intervju]. 30 Mars 2017.
- [56] Pyro Control A/S - Temperaturteknologi, «pyrocontrol.no,» [Internett]. Available: <http://www.pyrocontrol.no/temperaturkatalogen/46-47.pdf>. [Funnet 22 April 2017].
- [57] TSI Incorporated, «VelociCalc Plus - Air Velocity Meters - Operation and Service Manual,» TSI Incorporated, 1998.
- [58] J. Kögl, P. Hartmann og W. Beikircher, «Performance of different fire retardant products applied on Norway spruce tested in a Cone calorimeter,» EDP Sciences, Innsbruck, 2013.
- [59] B. Wedvik, «Brannhemmende overflatebehandling av tre,» NIKU, 2011.
- [60] Arbeids- og administrasjonsdepartementet, «St.meld. nr. 41 (2000-2001),» 27 April 2001. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/stmeld-nr-41-2000-2001-/id134200/sec1>. [Funnet 5 Mai 2017].
-

- [61] Biokjemi Norge AS, «Brannsikring av kulturminner og privat bebyggelse,» 17 November 2015. [Internett]. Available: <http://www.produktfakta.no/brannsikring-av-kulturminner-og-privat-bebyggelse-93136/nyhet.html>. [Funnet 5 Mai 2017].

Bildetekstliste

Bilde 1.1 Grip stavkirke etter brannskallsikring. Gjengitt med tillatelse. Kilde: [6]	2
Bilde 4.1 FB Hulromsventil. Gjengitt med tillatelse. Kilde: Securo.....	18
Bilde 4.2 FB Miniventil. Gjengitt med tillatelse. Kilde: Securo.....	19
Bilde 4.3 FB Overstrømsventil med klaffventil. Gjengitt med tillatelse. Kilde: Securo	19
Bilde 4.4 Påfyllingsrør for etterfylling av brensel.....	24
Bilde 4.5 Termoelement type K	25
Bilde 4.6 Datalogger	26
Bilde 4.7 Vindmåler	26
Bilde 5.1 Test 1 – Plassering av termoelementer	30
Bilde 5.2 Test 2 – Testrigg. Venstre: Kledning og takfot montert på gipskledd ramme, sett fra siden, før montering av gips på yttersiden. Høyre: Testoppsett 2 montert på toppen av brennkammer med gipsplater på yttersider og som tak.....	38
Bilde 5.3 Test 2 – Plassering av termoelementer	39
Bilde 5.4 Test 2 – Plassering av termoelementer	39
Bilde 5.5 Test 3 – Testrigg	47
Bilde 5.6 Test 3 – Plassering av termoelementer	50
Bilde 5.7 Test 4 – Plassering av elementer i testriggeren. Framside, sett nedenfra.	61
Bilde 5.8 Test 4 – Plassering av termoelementer	61

Figurtekstliste

Figur 1.1 Brannskall – Illustrering av begreper. Utklipp fra original kilde. Modifiseringer: Tekst, rød merking, annen mindre redigering. Med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 752.601, figur 51, SINTEF Byggforsk.....	2
Figur 2.1 Brannspredningsmekanismer. Modifikasjoner: Påført tekst «direkte flammekontakt». Med tillatelse. Illustrasjon: David Keeping. Kilde: Brann i bygg, figur 5.1, Guttorm Liebe, Norsk brannvernforenings forlag.....	4
Figur 2.2 SP Fire 105 – Brennkammerets dimensjoner. Sett ovenfra. Utklipp fra original figur. Utgjør sammen med figur 2.3 total figur. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: SP Fire 105, figure 6.2.2, SP Technical Research Institute of Sweden, Department of Fire Technology.....	8
Figur 2.3 SP Fire 105 – Brennkammerets dimensjoner. Sett fra siden. Utklipp fra original figur. Utgjør sammen med figur 2.2 total figur. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: SP Fire 105, figur 6.2.2, SP Technical Research Institute of Sweden, Department of Fire Technology 8	8
Figur 2.4 Energiproduksjon av brann, SP Fire 105. Gjengitt med tillatelse. Kilde: SP Technical Research Institute of Sweden, Department of Fire Technology.....	9
Figur 3.1 Utlektet tømmermannskledning på horisontale lekter og vertikale sløyfer. Utklipp fra original figur. Med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 523.255, figur 43, SINTEF Byggforsk	10
Figur 3.2 Tømmermannskledning – Illustrering av begreper og festing av spiker/skruer. Modifiseringer: Rød tekst og merking. Med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 542.101, figur 63a, SINTEF Byggforsk	11
Figur 3.3 Saltak, gavlvegg, langvegg og takfot. Utklipp fra original kilde. Modifiseringer: Rød merking og tekst. Illustrasjon: Byggforskserien 725.012, figur 21, SINTEF Byggforsk	12
Figur 3.4 Detalj av takfot med delvis underkledning og lufting. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 525.106, figur 65 b, SINTEF Byggforsk	13
Figur 3.5 Friskluftventil. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Byggforskserien 536.215, figur 22, SINTEF Byggforsk	14

Figur 4.1 ResQ Haugesund. Kilde: ©Google.....	16
Figur 4.2 ResQ Haugesund – Øvre og nedre brannfelt. Kilde: ©Google	16
Figur 4.3 ResQ Haugesund – Standplass. Kilde: ©Google	17
Figur 4.4 FB Hulromsventil – Montering i utlektet vertikal kledning. Hulromsventil markert med lilla farge. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Securo.....	18
Figur 4.5 FB Overstrømsventil – Montering i vegg. Gjengitt med tillatelse. Illustrasjon: Securo.....	20
Figur 4.6 Grip stavkirke – Lufting av hulrom bak overligger. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6].....	21
Figur 4.7 Grip stavkirke – Bruk av intumescentbånd i omlegg. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6].....	21
Figur 4.8 Grip stavkirke – Ny løsning for takfot. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6]	22
Figur 4.9 Grip stavkirke – Ventilasjonsåpning i grunnmur. Modifiseringer: Tekst oversatt fra engelsk. Med tillatelse. Kilde: [6]	23
Figur 4.10 Brennkammer og brennkar	24
Figur 5.1 Test 1 – Målt temperatur i brennkammer	31
Figur 5.2 Test 1 – Utregnet energiproduksjon	31
Figur 5.3 Test 1 – Målt temperatur på framside av testoppsett.....	35
Figur 5.4 Test 2 – Målt temperatur i brennkammer	40
Figur 5.5 Test 2 – Utregnet energiproduksjon	41
Figur 5.6 Test 2 – Temperatur i underkant av testelement første 2 min	45
Figur 5.7 Test 2 – Målt temperatur i underkant av testelement B.....	46
Figur 5.8 Test 2 – Temperatur over takfot	46
Figur 5.9 Test 3 – Målt temperatur i brennkammer	51
Figur 5.10 Test 3 – Utregnet energiproduksjon	52
Figur 5.11 Test 3 – Målt temperatur i forkant av testelement.....	56
Figur 5.12 Test 3 – Målt temperatur bak A.....	57
Figur 5.13 Test 3 – Målt temperatur bak B	57
Figur 5.14 Test 3 – Målt temperatur bak C	57
Figur 5.15 Test 3 – Målt temperatur bak kledning.....	58
Figur 5.16 Test 4 – Målt temperatur i brennkammer	62
Figur 5.17 Test 4 – Utregnet energiproduksjon	63
Figur 5.18 Test 4 – Temperaturmålinger bak C, D og E.....	65
Figur 5.19 Test 4 – Temperaturmålinger bak A og B	66

Vedlegg A: Kommentarer til brannutvikling

I de grafiske framstillingene av temperaturutviklingen i brennkammeret (figur 5.1, 5.4, 5.9 og 5.16) kan det flere steder observeres et temperaturfall med en påfølgende temperaturøkning. Dette må ses i sammenheng med brenselforbruket (tabell 5.4, 5.12, 5.19 og 5.26), da særlig med tanke på etterfylling. Etterfylling av brensel ble ofte utført på tidspunkt der brannkilden var i ferd med å avta.

Forsinkelsen i temperaturøkning kan skyldes ulike faktorer. En av disse faktorene kan være at parafinen som ble tilført brennkaret hadde en kjølede effekt på den gjenværende væsken i karet. En annen, sannsynligvis mer betydelig faktor, er at den etterfylte parafinen ble blandet med den gjenværende væsken. Dette kan ha medført en forsinkelse i dannelsen av et fullverdig parafinsjikt på overflaten av vannet.

Vedlegg B: Utregning av energiproduksjon og sensitivitetsanalyse

Brannens energiproduksjon er estimert ved hjelp av brenselets oppgitte egenskaper samt temperaturmålinger i brennkammeret. Teorien bak disse utregningene er beskrevet i kapittel 2.3.

Benyttede egenskaper for brenselet er vist i tabell:

	χ [-]	ΔH_c [MJ/kg]	L_v [kJ/kg]	\dot{Q}_F'' [kW/m ²]	\dot{Q}_L'' [kW/m ²]
Parafin	0,90	43,2	850	29	3,0

For å beregne brenselets massefluks benyttes formel (2):

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L''}{L_v}$$

Der \dot{Q}_E'' er variabel med den målte temperaturen i røyklaget beskrevet ved formel (3):

$$\dot{Q}_E'' = \varphi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_s^4)$$

I utregningen av \dot{Q}_E'' må det settes verdier for synsfaktor og emissivitet. Det blir på bakgrunn av tidligere erfaring fra eksperimenter og tilgjengelig litteratur valgt følgende verdier for synsfaktor og emissivitet:

$$\varphi = 0,9$$

$$\varepsilon = 0,7$$

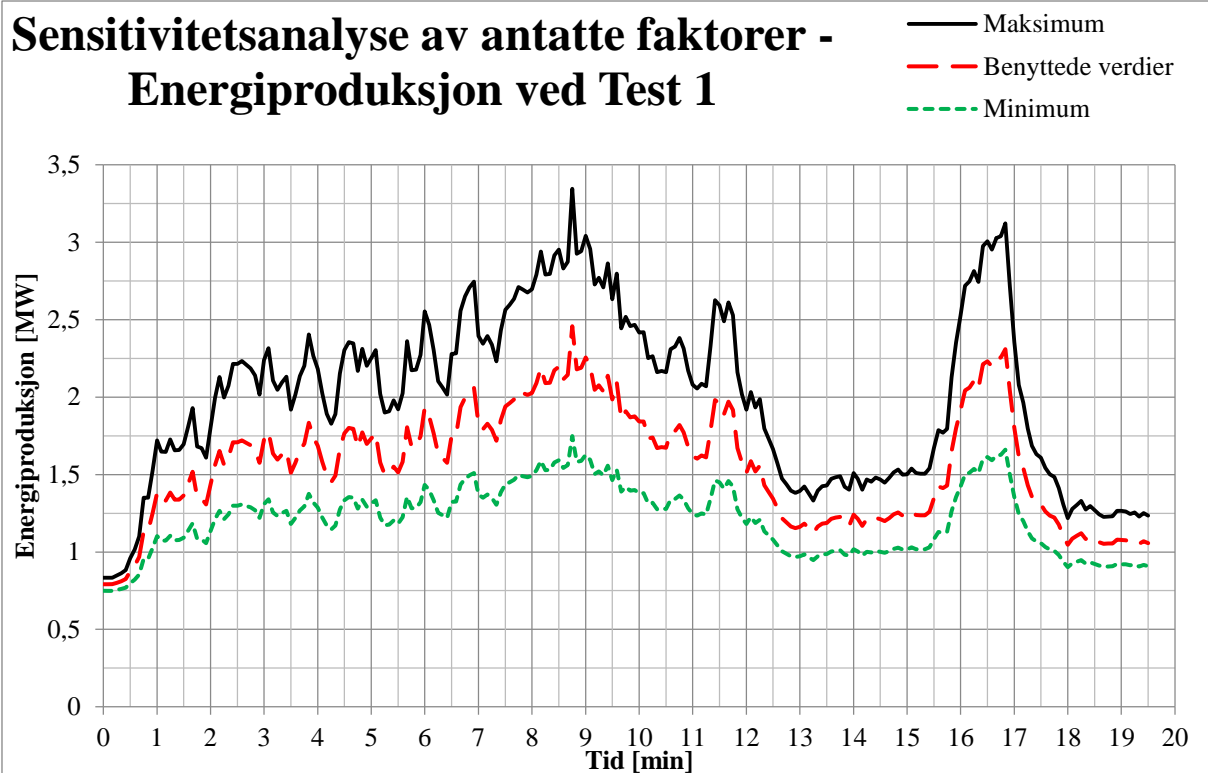
Brannens effekt blir dermed estimert ved formel (1):

$$\dot{Q} = A_f \cdot \dot{m}'' \cdot \chi \cdot \Delta H_c$$

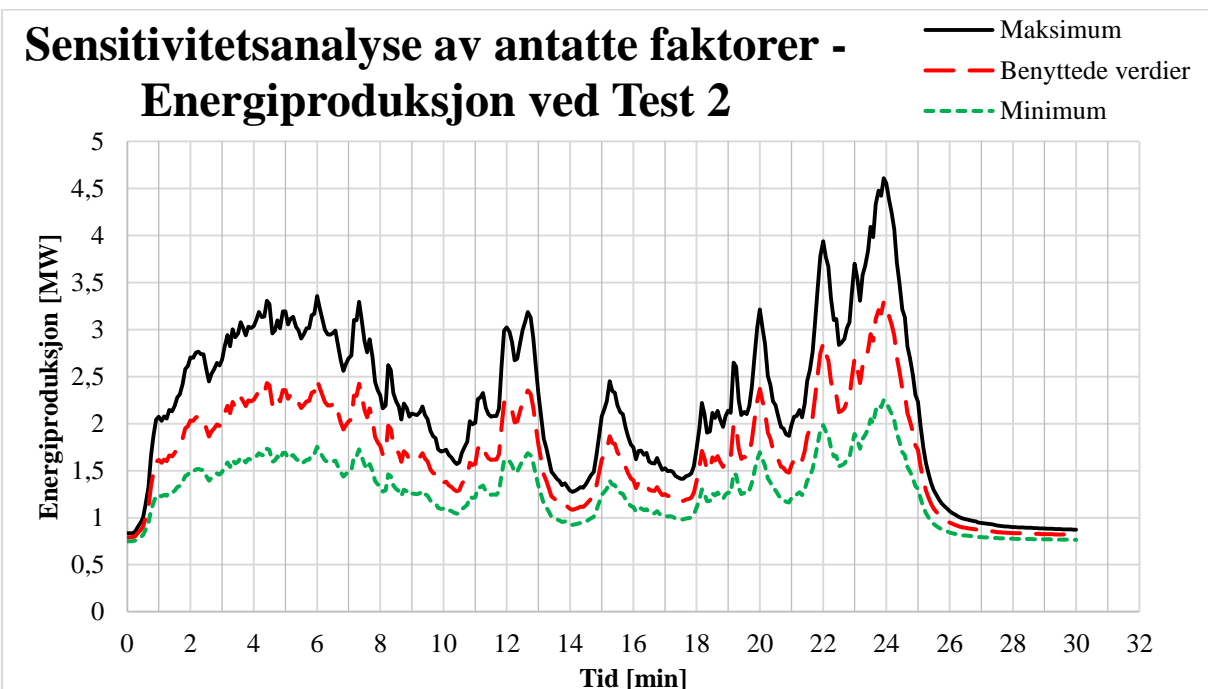
Det er usikkerhet rundt enkelte benyttede faktorer der det vurderes at de benevnelsesløse faktorene synsfaktor, emissivitet og forbrenningseffektivitet er de med høyest usikkerhet. Det er derfor gjort en sensitivitetsanalyse for utregnet effekt av Test 1 som viser resultater hvis antatte maksimumsverdier og minimumsverdier benyttes for disse faktorene. Grafen som presenteres vil dermed gi en maksimumskurve og minimumskurve som brannens effekt med stor sannsynlighet vil ligge innenfor.

Sensitivitetsanalyse			
	Synsfaktor – φ	Emissivitet – ε	Forbrenningseffektivitet – χ
Benyttede verdier	0,9	0,7	0,9
Maksimum	1	0,9	0,95
Minimum	0,8	0,5	0,85

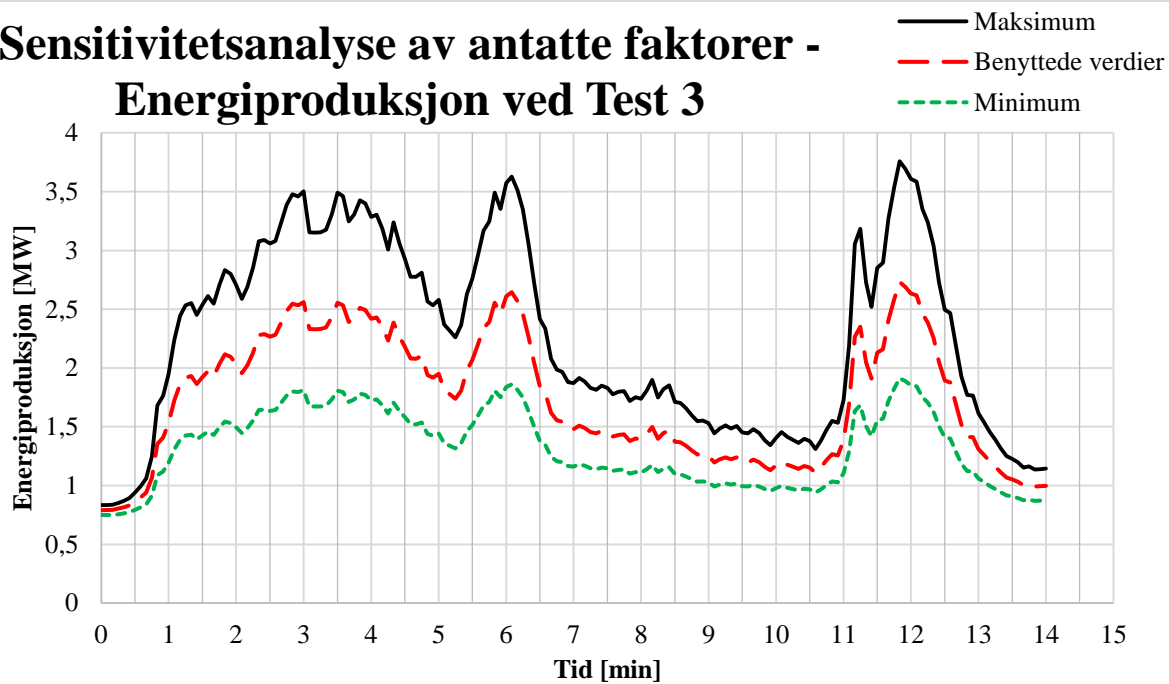
Sensitivitetsanalyse av antatte faktorer - Energiproduksjon ved Test 1



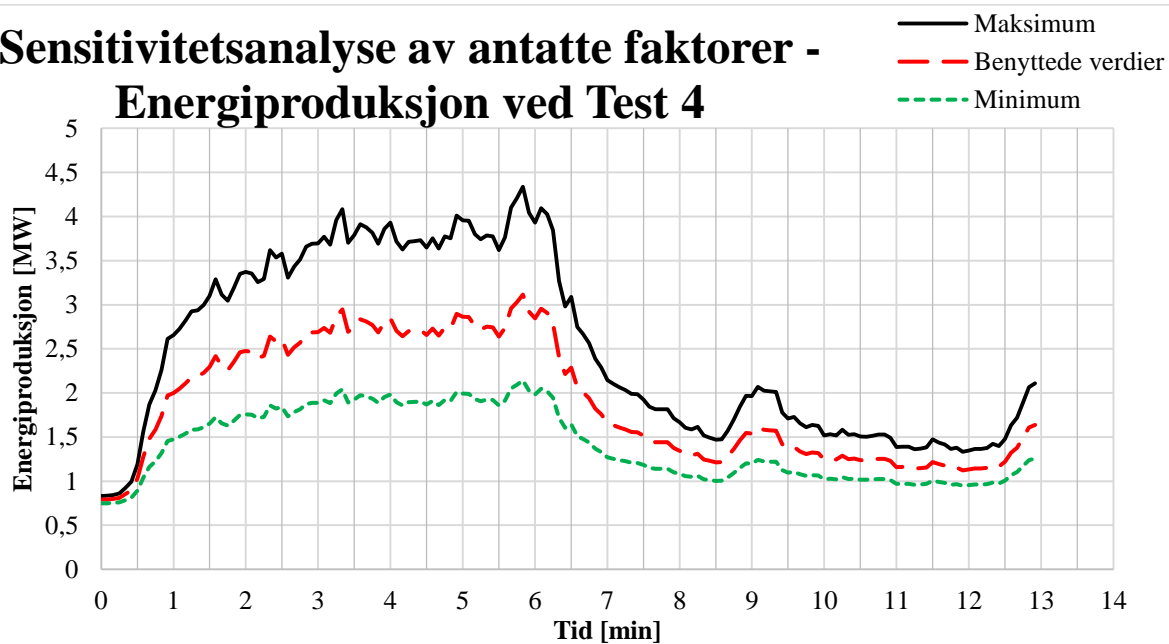
Sensitivitetsanalyse av antatte faktorer - Energiproduksjon ved Test 2



Sensitivitetsanalyse av antatte faktorer - Energiproduksjon ved Test 3



Sensitivitetsanalyse av antatte faktorer - Energiproduksjon ved Test 4



Vedlegg C: Gjenværende materiale Test 4

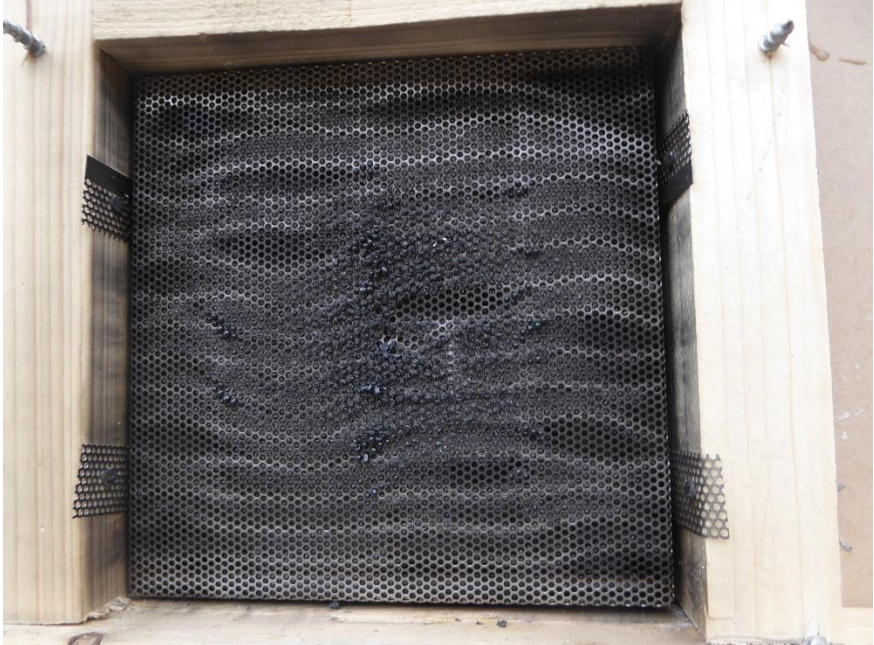

For informasjon knyttet til utprøvde løsninger ved Test 4 henvises det til tabell 5.24.

For å bedre forstå plassering og størrelsesforhold mellom løsningene er det lagt ved to forklarende bilder. Bildene viser henholdsvis «ueksponert side» (innside, bakside) og «eksponert side» (framside) før testing.

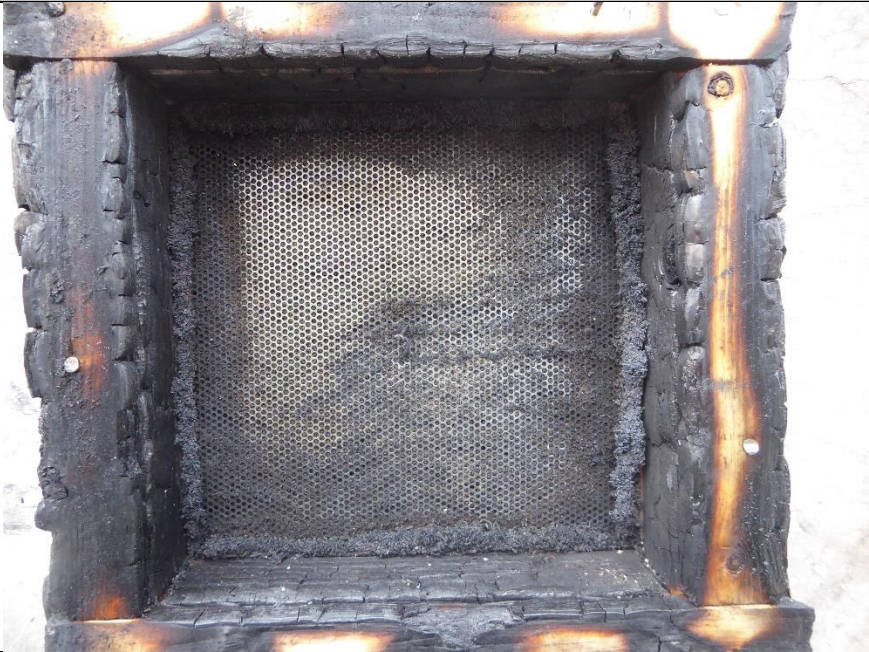




Gjenværende materiale Test 4	
Kommentar	Bilde
Ueksponert side etter slokking.	A photograph showing the unexposed side of the test structure after fire testing. The structure is made of light-colored wood. The top part of the structure is heavily charred and damaged, with a large hole in the roof. The bottom part of the structure is still intact but shows signs of fire damage. The structure is set on a wooden floor.


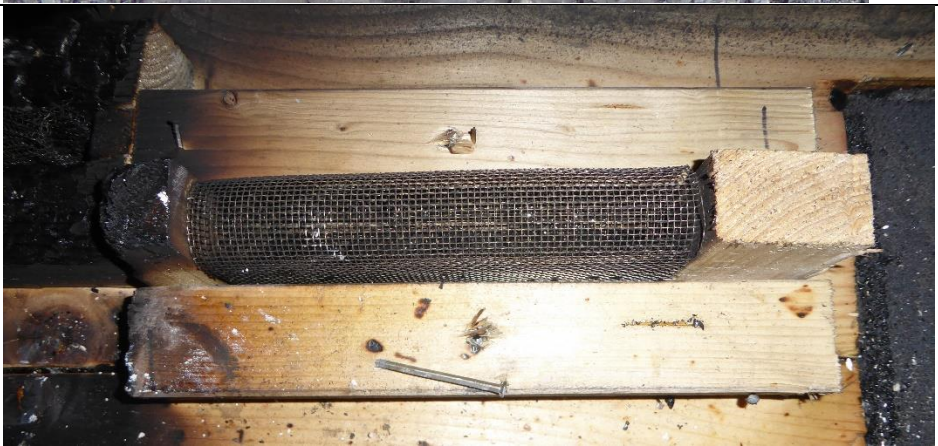

Gjenværende materiale Test 4



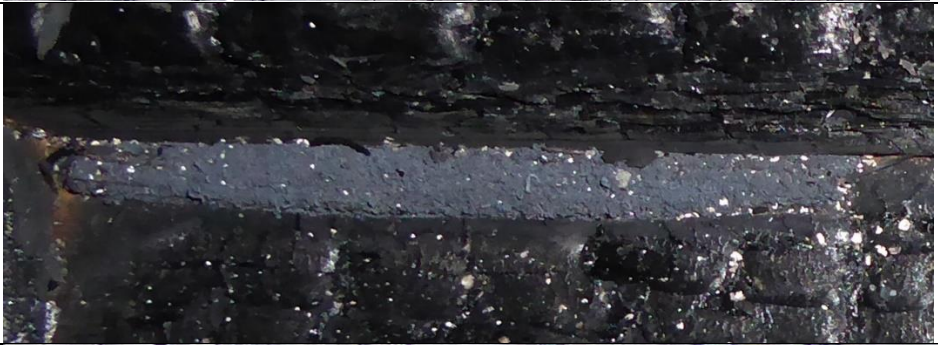


Kommentar	Bilde
<p>Av: Ueksponert side.</p>	
<p>Av: Eksponert side, sett fra siden, sett fra siden. Flexit-stålrisk er blitt bøyd ut.</p>	

Gjenværende materiale Test 4

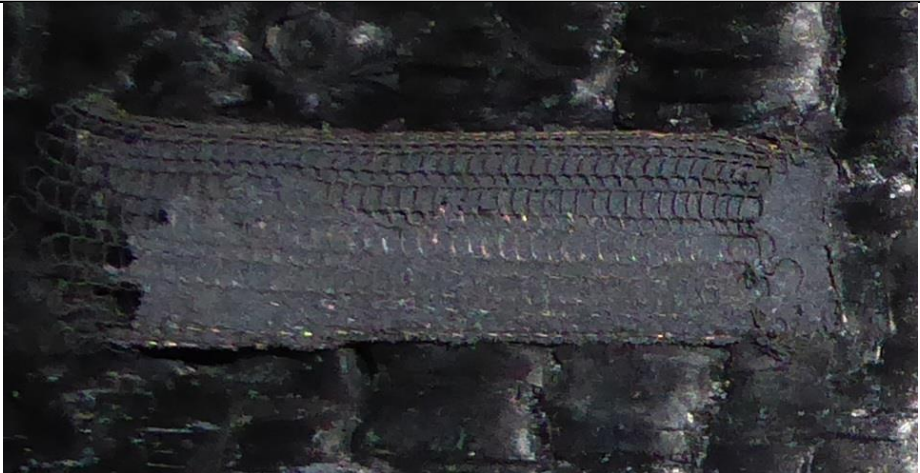



Kommentar	Bilde
<p>Av: Eksponert side, sett i front. Flexit-stålrisk og ytre trelister demontert.</p>	
<p>AH: Ueksponert side.</p>	
<p>AH: Eksponert side, sett fra siden. Flexit-stålrisk er blitt bøyd ut.</p>	





Gjenværende materiale Test 4

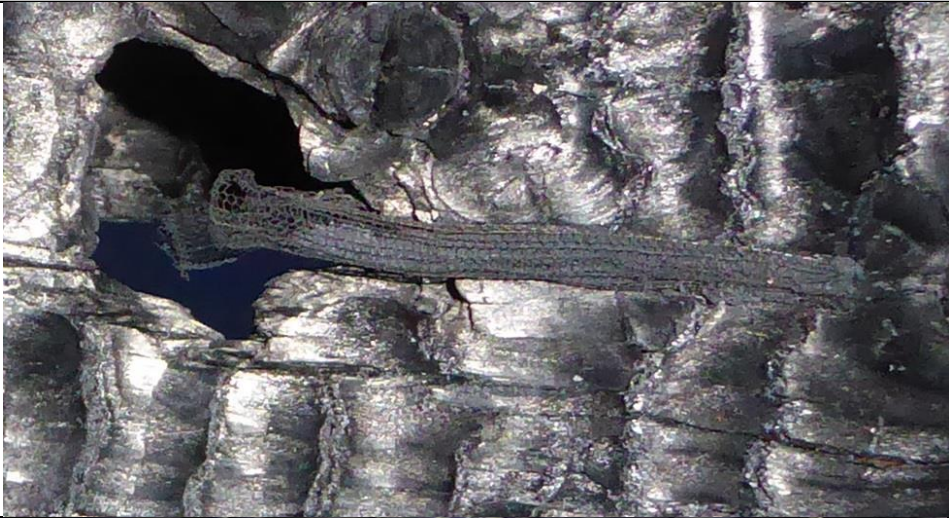


Kommentar	Bilde
<p>A_H: Eksponert side, sett i front. Flexit-stålrisk demontert.</p>	
<p>B: Ueksponert side. Forkulling og sooting på venstre side som følge av brannspredning på bakside av takfot.</p>	
<p>B: Eksponert side.</p>	

Gjenstående materiale Test 4	
Kommentar	Bilde
C: Ueksponert side.	
C: Eksponert side.	
D: Ueksponert side.	
D: Eksponert side.	
E: Ueksponert side.	

Gjenværende materiale Test 4

Kommentar	Bilde
E: Eksponert side:	
F: Ueksponert side.	
F: Eksponert side.	
G: Ueksponert side.	

Gjenstående materiale Test 4	
Kommentar	Bilde
G: Eksponert side.	
H: Ueksponert side.	
H: Eksponert side.	
I: Ueksponert side.	

Gjenværende materiale Test 4	
Kommentar	Bilde
I: Eksponert side.	
J: Ueksponert side.	
J: Eksponert side.	

Gjenværende materiale Test 4

Kommentar	Bilde
<p>K og L: Ekspionert side. Ingen gjenværende materialer.</p>	