



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Brannteknikk

ING3037

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2019 15:50	Termin:	2019 VÅR
Sluttdato:	08-05-2019 14:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3037 1 PRO-1 2019 VÅR Haugesund		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Kandidatnr.: 123

Informasjon fra deltaker

Tittel *: Varmedning fra en branncelle til en annen via ståplatetak
Engelsk tittel *: Heat conduction from one fire cell to another through a steel roof
Egenerklæring *: Ja **Inneholder besvarelsen Nei**
konfidensiell materiale?:

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

Gruppe

Gruppenavn: (Anonymisert)
Gruppenummer: 4
Andre medlemmer i gruppen: 100, 121

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Høgskolen på Vestlandet

HOVEDPROSJEKT

Varmeledning fra en branncelle til en annen via stålplatetak.



Joachim Eidesund
Christer Poulsen
Mathias Wetteland

Kandidatnummer: 123
Kandidatnummer: 100
Kandidatnummer: 121

08.05.2019



BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Joachim Eidesund
Christer Poulsen
Mathias Wetteland

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet

Oppgavens tittel: *Varmeledning fra en branncelle til en annen via stålplatetak.*

Oppgavetekst:

Teknisk godkjenning nr. 20073 anviser på bakgrunn av Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK) og Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) at bærende stålplatetak skal splittes over brannskille begrensende konstruksjoner. Splittingen av stålplatetaket kan kun skje over en akse hvor det er bærende konstruksjoner.

I denne oppgaven skal det sees på varmeledning via bærende stålplatetak. Av praktiske grunner er det ikke alltid stålplatetaket blir splittet over en brannskillebegrensende konstruksjon. Hovedformålet med oppgaven er studere varmetransporten i stålplatetaket på tvers av et brannskille når en branncelle blir utsatt for temperaturer gitt i ISO 834.

Temperaturene skal måles ved gjennomføring av forsøk hvor en bruker 1/3 ISO rom som branncelle. Taket på branncellen er et stålplatetak som føres uavbrutt over en brannskillebegrensende konstruksjon. Brenselet som blir brukt for å nå temperaturnivåene i ISO 834 er propan.

Endelig oppgave gitt: 02.04.2019

Innleveringsfrist: Onsdag 8.mai 2019 kl. 14.00

Intern veileder David Rene Ursin Johansen
Ekstern veileder Stein Kyrre Kvinge, Firesafe AS
E-post: SKK@firesafe.no

**Godkjent av
studieansvarlig:**

Fredrik Henningsen

2/5 -19



Oppgavens tittel Varmeledning fra en branncelle til en annen via stålplatetak.		Rapportnummer
Utført av Joachim Eidesund, Christer Poulsen, Mathias Wetteland		
Linje Sikkerhet, Brannteknikk		Studieretning Ingeniør
Gradering Åpen	Innlevert dato 08.Mai.2019	Veiledere David Rene Ursin Johansen Stein Kyrre Kvinge

Ekstrakt

Denne oppgaven handler om varmeledning via stålplatetak som er gjennomgående over et brannskille. Bærende stålplatetak skal splittes over et brannskille ihht. *Teknisk Godkjenning nr. 20073*. Det ble bygget en takkonstruksjon prinsipielt basert *Teknisk Godkjenning nr. 20073* som ble montert på et 1/3 ISO-rom. Stålplatetaket ble eksponert for en varmebelastning ihht. ISO 834. Akseptkriteriet for varmeledning i stålplatetaket på kald side er 180 °C i et punkt, gitt av NS-EN 13501-3:2005+A1:2009. Det ble gjennomført to forsøksserier med tre forsøk i hver serie, hvor forskjellen mellom forsøksserie- 1 og 2 er forlengelse av stålplatetaket. Forsøkene som ble utført viser at temperaturene på kald side overstiger akseptkriteriet på 180 °C i et punkt.



Forord


Denne rapporten representerer avsluttende oppgave på en treårig bachelorgrad i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet, avd. Haugesund. Hele oppgaven utgjør 20 studiepoeng og består av en teknisk rapport, plakat, produkt og presentasjon.


Senioringeniør Stein Kyrre Kvinge ved Firesafe AS presenterte problemstillingen til oppgaven høsten 2018. Firesafe AS ønsket å undersøke varmeledning via stålplatetak når stålplatetaket føres uavbrutt over et brannskille.


Stor takk til intern veileder ved HVL, **David Rene Ursin Johansen** og ekstern veileder i Firesafe, **Stein Kyrre Kvinge** for ypperlig veiledning, gode råd og støtte gjennom hele arbeidet.

Takk til høyskolelektor ved HVL, **Arjen Kraaijeveld** for hjelp til tilrettelegging og gjennomføring av testing i brannlaben, samt innhenting av materialer og instrumenter til forsøkene.

Takk til **ALFA Stålentreprise AS, Haugaland byggkjøp AS og Firesafe AS avd. Haugesund** som har støttet oss med nødvendige materialer for å kunne gjennomføre forsøk.


Joachim Eidesund


Christer Poulsen


Mathias Wetteland

Fagord og symbolforklaring

Tabell 1 - Symbolforklaring til formler

Symbolforklaringer:	
A_0	Arealet på åpning. (m^2)
A_T	Total overflate minus åpning. (m^2)
E	Totale utstrålingsenergien til et objekt (W/m^2)
H_0	Høyden på åpning (m)
ΔH_c	Forbrenningsvarme (kJ/kg)
h	Konveksjonsfaktor ($W/m^2 \cdot K$)
h_k	Konduksjons koeffisienten ($kW/m^2 \cdot K$)
k	Varmeledningsevne ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
k_x	Materialets spesifikke varmeledningsevne i horisontal retning ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
\dot{m}	Massetapsraten pr. tidsenhet (kg/s)
\dot{Q}	Branneffekt (kW)
\dot{q}''_E	Varmefluks (W/m^2)
$\dot{q}''_{kond.}$	Varmeledning (W/m^2)
\dot{q}''_{konv}	Konveksjon (W/m^2)
T	Temperatur ($^\circ C$), (K)
T_0	Start-temperaturen i rommet ($^\circ C$), (K)
t	Tid (s)
ΔT	Temperaturdifferanse ($^\circ C$), (K)
ϕ	Synsfaktor ($0 < \phi < 1$)
ε	Emissivitet, emisjonsfaktor ($0 < \varepsilon < 1$)
σ	Stefan-Boltzmann konstant $5,67 \cdot 10^{-8}$ ($W/m^2 K^4$)
χ	Forbrenningseffektivitet



Innholdsfortegnelse

Forord	iii
Fagord og symbolforklaring	iv
Figurliste	vii
Tabell liste	vii
Sammendrag	viii
1. Innledning	1
1.1 Begrensninger	2
2. Teori	3
2.1 Rombrann	3
2.1.1 Branneffekt	3
2.1.2 Antennelse	4
2.1.3 Vekst	5
2.1.4 Fullt utviklet brann	5
2.1.5 Utbrenning	5
2.2 Varmetransport	5
2.2.1 Konduksjon	6
2.2.2 Konveksjon	7
2.2.3 Varmestråling	8
2.3 Passiv brannsikring og brannmotstand	9
2.3.1 TPF Informerer nr. 6	9
2.3.2 Teknisk godkjenning nr. 20073	11
2.3.3 Stålets egenskaper ved brann	12
2.3.4 Akseptkriteriet for temperaturforandring	13
2.4 Branntesting	13
2.4.1 ISO-rom	13
2.4.2 Standardbrann og ISO 834 kurve	14
2.4.3 Termoelement	15
2.5 Brannmodellering	16
2.5.1 Fire Dynamics Simulator	16
2.5.2 Argos	16
3. Metode	18
3.1 Forarbeid	18
3.1.1 Dimensjonering av branneffekt	18
3.2 Forsøksoppsett	20
3.2.1 Forsøksrigg	21
3.2.2 Instrumentering	23



3.2.3	Gassbrenner	25
4.	Resultat og diskusjon	27
4.1	Temperaturer i forsøksrommet	27
4.2	Temperatur utenfor brannrommet	29
4.3	Temperaturer 20 cm utenfor brannskillet	33
4.4	Temperaturer i tverrsnittet	34
4.5	Antennelse	36
5.	Konklusjon	37
6.	Videre studie	38
7.	Referanser	40
Vedlegg A:	Temperatur utenfor brannrommet	I
Vedlegg B:	Bilder	II

Figurliste

Figur 1 – Tid-temperaturkurve og de ulike faser i en rombrann [11]	3
Figur 2 - De ulike varmetransport-mekanismene i en rombrann [10]	6
Figur 3 - Varmeledning via et metallrør på tvers av en vegg [10]	7
Figur 4 - Eksempel på løsning for stålplatetak som føres over branncelle begrensende konstruksjon. [9]	10
Figur 5 - Stålplatetak inntil branncellebegrensende vegg [9]	11
Figur 6 - Tilslutning mellom vegg og tak [6]	11
Figur 7 - Prinsipiell oppbygging av <i>Tata Steel</i> stålplatetak. Angitt trykkfasthet til isolasjonsmaterialene gjelder for 10% deformasjon [6]	12
Figur 8 - Reduksjonsfaktor for flytegrense til konstruksjonsstål avhenger av stålets temperatur [18]	13
Figur 9 - Dimensjoner på fullskala ISO-rom [21]	14
Figur 10 – Standard tid – temperaturkurve, ISO 834 gjennom et 120 minutters tidsforløp	15
Figur 11 – Oppbygging og funksjon av et termoelement	15
Figur 12 - CFD modell der volumet deles inn i små kontrollvolumer.	16
Figur 13 - To sone modellering med varm og kald sone	17
Figur 14 - Modell fra FDS simulering for dimensjonering av branneffekt	18
Figur 15 - Dimensjonering av branneffekt. Sammenligning mellom beregningsmetoder	19
Figur 16 - Testforsøk for dimensjonering av branneffekt	19
Figur 17 – Prinsipiell skisse av forsøksoppsett med forsøksrigg, instrumentering og gassflasker	20
Figur 18 - 1/3 ISO-rom med påmontert stålplatetak og dimensjoner	21
Figur 19 - Oppbygging til stålplatetak med isolasjon, treramme og gips	22
Figur 20 - Dimensjoner av stålplatetak brukt i forsøkene	22
Figur 21 - Forlengelse av stålplatetaket	23
Figur 22 - Plassering av termoelementer i stålplatetak med nummerering	24
Figur 23 - Festing av termoelementer i stålplatetak	25
Figur 24 - Plassering av sandbrenner	26
Figur 25 - Temperaturer i brannrommet, forsøksserie 1	28
Figur 26 - Temperaturer i brannrommet, forsøksserie 2	29
Figur 27 - Temperatur, termoelement 6-10 (forsøksserie 1)	30
Figur 28 - Temperatur, termoelement 6-10 (forsøksserie 2)	30
Figur 29 - Temperatur i termoelement 20 i forsøksserie 1	31
Figur 30 - Varmebelastet stålplatetak med avstand fra termoelement 6 og 10 til varmelastet område	32
Figur 31 – Temperaturer målt i termoelement 1-5 i forsøksserie 1	33
Figur 32 – Temperaturer målt i termoelement 1-5 i forsøksserie 2	33
Figur 33 - Temperaturer i tverrsnittet i forsøksserie 1	34
Figur 34 - Temperaturer i tverrsnittet i forsøksserie 2	35
Figur 35 - Forskjell mellom varmeledning oppå profileringen og ned i profileringen	36
Figur 36 - Platetak kontinuerlig over branncellebegrensende vegg som avslutter under taket [30]	38

Tabell liste

Tabell 1 - Symbolforklaring til formler	iv
Tabell 2 - Temperaturoversikt termoelement 6-10, forsøksserie 1 og 2	I

Sammendrag

Hvert år omkommer det titalls mennesker forårsaket av brann i Norge. 30 % av utrykningene brann- og redningsvesenet rykket ut til i 2018 var til bygningsbranner. Brannsikkerheten i bygg skal tilfredsstillende byggt teknisk forskrift sine angitte funksjonskrav, disse kravene skal redusere sannsynlighet for tap av liv og helse til et akseptabelt nivå dersom det skulle oppstå brann. Brannsikkerheten skal også ivareta materielle verdier og miljø- og samfunnsmessig forhold.

Et bygg har branncelleinndelinger, dette er rom/områder med ulik risiko for liv og helse eller ulik fare for brann. Rom/områder deles inn med brannskillebegrensende konstruksjoner som beskytter mot brann og røykspredning i en gitt tid. Akseptkriteriet til et brannskille er at temperaturen ikke overstiger 180 °C i et punkt på motsatt side av brannrommet. Det samme akseptkriteriet gjelder for varmeledning i stålplatetaket over et brannskille.

I denne oppgaven er hovedformålet å undersøke varmeledning via gjennomgående stålplatetaket over et brannskille. Vanlig praksis er å splitte stålplatetaket over et brannskille. Hensikten er å studere om temperaturen på kald side overstiger akseptkriteriet på 180 °C i et punkt, når stålplatetaket ikke splittes over brannskillet.

Det er tatt utgangspunkt i 1/3 ISO-rom og gjennomført to forsøksserier med tre forsøk i hver serie, hvor stålplatetaket blir utsatt for temperaturpåkjenninger gitt i ISO 834. I forsøksserie 1 er konstruksjonen oppbygd med 40 cm takutstikk på kald side, mens forsøksserie 2 er bygd opp med 198 cm takutstikk på kald side. Der stålplatetaket går ut fra brannskille på kald side er det montert fem termoelementer. Det er tatt utgangspunkt i propan som brensel og en konservativ oppbygging av taket mtp. den prinsipielle løsningen gitt i *Teknisk Godkjenning 20073*.

Resultatene fra hvert av forsøkene viser at temperaturmålingene overstiger akseptkriteriet. Dvs. at takkonstruksjonen bør konstrueres slik *Teknisk Godkjenning 20073* anviser med splitting av stålplatetaket over brannskille. Evt. kan en gjennomføre videre studie hvor profileringen blir isolert og underkledd med ubrennbare materialer 60 cm ut fra brannskille på hver av sidene.

1. Innledning

I 2018 rykket brann- og redningsvesenet i Norge ut til 10947 branner, 30% av disse utrykningene var til bygningsbranner [1]. Bygningsbranner medfører fare for liv og økonomiske verdier. De siste fem årene (2014-2018) har det i snitt omkommet 39 mennesker hvert år i brann. Dette er en positiv utvikling sammenlignet med årene 2009-2013, hvor det i gjennomsnitt omkom 55 mennesker [2]. Dødstallene er fortsatt for høye og brannsikkerhet må være i fokus i dagens samfunn.

Bygg i Norge skal oppføres etter lover og forskrifter som styrer byggefasen og bruksfasen. *Byggteknisk Forskrift (TEK)* angir funksjonskrav som er minimumskravet myndighetene har fastsatt til brannsikkerhet i bygninger. Veiledningen til TEK (VTEK) forklarer forskriftens funksjonskrav og gir preaksepterte ytelser som oppfyller kravene [3]. Hovedformålet med brannsikkerhet er å redusere sannsynlighet for tap av liv og helse ved brann til et akseptabelt nivå, og ivareta materielle verdier og miljø- og samfunnsmessig forhold.

I byggverk er det aktive- og passive tekniske løsninger som ivaretar brannsikkerheten. De aktive kan f.eks. være deteksjon og slokkesystemer, mens de passive f.eks. kan bestå av materialvalg og seksjonering. Områder/rom i et bygg med ulik risiko for liv og helse eller ulik fare for brann skal deles inn i egne brannceller med brannskille begrensende konstruksjoner. Branncelleinnndelingen skal ivareta tid til rømning og redning, forsinke brann og røykspredning og lette slokkearbeid [3]. Et brannskille skal forhindre brann og røykspredning mellom brannceller i en gitt tid på bakgrunn av hvilken brannklasse og risikoklasse bygningen er klassifisert under [4]. I løpet av den gitte tiden skal temperaturen ikke overstige 180 °C i et punkt på kald side [5], dette er akseptkriteriet for et brannskille. Det samme akseptkriteriet gjelder for varmeledning i et stålplatetak over et brannskillet.

Teknisk Godkjenning nr. 20073 [6] anviser på bakgrunn av *Forskrift om Omsetning og Dokumentasjon av Produkter til Byggverk (DOK)* [7] og *Byggteknisk Forskrift (TEK10)* [8] at bærende stålplatetak skal splittes over brannskille begrensende konstruksjoner. I tillegg til splittingen skal det isoleres i tverrsnittet og 600 mm ut fra hver av sidene til veggen med ubrennbar isolasjon. Splittingen av stålplatetaket kan kun skje over en akse

hvor det er bærende konstruksjoner [9]. På bakgrunn av dette er det ikke mulig å splitte stålplatetaket hvis det skal settes opp et brannskille i et eksisterende bygg.

I denne oppgaven er det utført forsøk på 1 mm tykt stålplatetak bygget på et 1/3 ISO-rom. Taket ble utsatt for temperaturpåkjenning i 30 minutter, lik ytelseskravet for brannskillet som det ble tatt utgangspunkt i. Det ble undersøkt om akseptkriteriet opprettholdes selv om stålplatetaket ikke splittes over brannskillet med temperaturer gitt i ISO 834. Under hvert av forsøkene ble det kontinuerlig registrert temperaturmålinger på kald og varm side av brannskille og integriteten ble vurdert etter hvert forsøk.

I denne oppgaven skal det undersøkes varmeledning via bærende stålplatetak som er gjennomgående over et brannskille. Oppgaven baseres på å studere varmetransport i stålplatetak som ligger på tvers av et brannskille når branncellen blir utsatt for temperaturer gitt i ISO 834. Ved gjennomføring av forsøk er det valgt to ulike scenarioer, et scenario med 40 cm takutstikk og et med 198 cm takutstikk.

Formålet med oppgaven er å undersøke:

- om temperaturen overstiger 180 °C på motsatt side av brannskillet dersom stålplatetaket ikke splittes.
- hvilken effekt det vil ha på varmeledningen når takutstikket forlenges.

Det skal dokumenteres om akseptkriterier for et brannskille tilfredsstilles når stålplatetaket ikke splittes over brannskillebegrensende konstruksjon.

1.1 Begrensninger

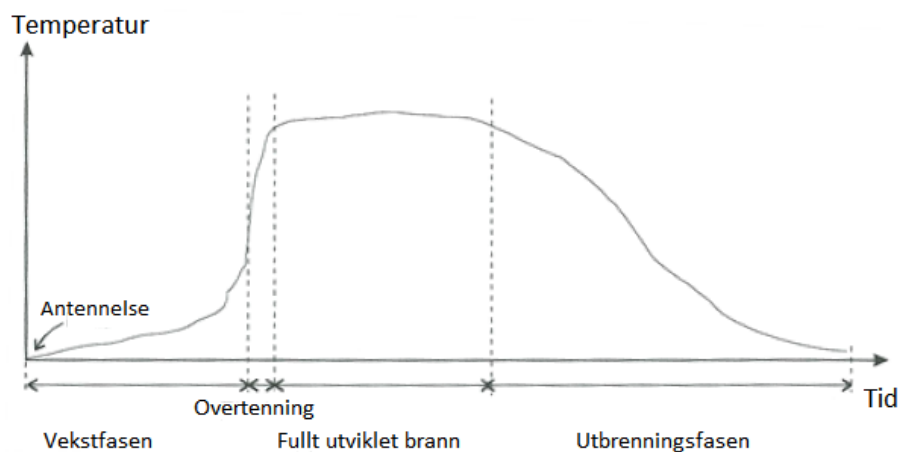
- Denne rapporten begrenser seg til å undersøke om det vil bli temperaturer over akseptkriteriet på motsatt side av brannskillet, forårsaket av varmeledning via stålplate taket. Akseptkriteriet er $T > 180$ °C i et punkt.
- Forsøkene er begrenset til takutstikk på 40 cm og 198 cm.
- I forsøkene er det bare benyttet stålplatetak med tykkelse 1 mm og størrelse på profileringer gitt i Figur 20.
- Forsøksriggen er begrenset til størrelse på 1/3 ISO-rom.
- Temperaturen i brannrommet skal være på en konservativ side av ISO 834 og nå temperaturen i ISO 834 etter 30 minutter, som er 842 °C.

2. Teori

Dette kapitlet vil gi en innføring i teoretiske temaer som er relevant for oppgaven og gjennomføringen av forsøkene. Kapitlet vil ta for seg brannteori, regelverk og standarder tilknyttet bruk av profilerte stålplattetak.

2.1 Rombrann

En rombrann er en brann som oppstår innendørs, dvs. avgrenset med vegger og tak. En brann som får brenne fritt i et rom uten at brannen blir slokket av mennesker eller automatiske slokkeanlegg vil gå gjennom flere faser. Disse fasene er: Antennelse, Vekst, Fullt utviklet brann og utbrenning. [10] Varigheten av fasene vil variere og være avhengig av brennbart materiale og oksygentilførsel. I Figur 1 er fasene illustrert i en temperatur/tidskurve.



Figur 1 – Tid-temperaturkurve og de ulike faser i en rombrann [11]

2.1.1 Branneffekt

Branneffekt er hvor mye energi et materiale frigir per tidsenhet ved forbrenning. Branneffekten er oppgitt i kW eller MW. Hvor mye energi et materiale frigir avhenger av hvilken type materiale som brenner, om det er en innen- eller utendørs brann og om hvor mye oksygen brannen har tilgang på. Branneffekten til en innendørs brann påvirkes hovedsakelig av to faktorer i tillegg til hvilket materiale som brenner. I en innendørs brann vil det samle seg varme røykgasser oppunder taket. Disse røykgassene vil stråle ned på det brennende materiale og være med å øke forbrenningsraten. Dette medfører at

branneffekten blir større, og forbrenningsraten øker mer enn en utendørs brann, gitt tilstrekkelig tilgang på oksygen [11]. Branneffekten er gitt ved formel 2.1:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m} \cdot \Delta H_c \quad (2.1)$$

χ er forbrenningseffektiviteten

\dot{m} er massetapsraten pr. tidsenhet (kg/s)

ΔH_c er materialets forbrenningsvarme (kJ/kg)

2.1.1.1 Håndberegninger

Ved bruk av formel 2.2 er det mulig å beregne temperaturen inne i brannrommet ved en gitt branneffekt og tid. Formelen er kun gyldig frem til overtenning. Overtenning skjer vanligvis når temperaturen er mellom 500 °C og 600 °C [11].

$$\Delta T = 6,85 \cdot \left(\frac{\dot{Q}^2}{h_k \cdot A_T \cdot A_o \cdot \sqrt{H_o}} \right)^{1/3} \quad (2.2)$$

Q er branneffekt (kW)

A_T er total overflate minus åpning (m²)

A_o er arealet på åpning (m²)

H_o er høyden på åpning (m)

h_k er konduksjons koeffisienten (kW/(m²·K))

2.1.2 Antennelse

I *Grunnleggende Brannteknikk* [10] blir antennelse beskrevet ved at en brann starter med et fast materiale, gass eller væske som blir antent. En antennelse kan skje på flere ulike måter, slik som selvantennelse, spontanantennelse eller pilot-antennelse. Selvantennelse er når et stoff produserer mer energi enn det som stoffet frigir til omgivelsene. Når temperaturen når antennelsestemperaturen for stoffet, vil stoffet antenne. Spontanantennelse kan skje når et materiale blir utsatt for varmestråling fra en ekstern varmekilde. Materialet og varmekilden er ikke i direkte kontakt, men varmestråling gjør at materialet begynner å pyrolysere og avgi gasser. Når gassene som avgis når spontan-antennelsestemperaturen, vil materialet

antenne. Blir fast materiale, gass eller væske utsatt for en direkte påkjenning fra en ekstern varmekilde kalles dette for pilot-antennelse.

2.1.3 Vekst

I vekstfasen utvikler og vokser brannen fra antennelse til fullt utviklet brann. Vekstfasen er avhengig av hvor mye brennbart materiale i gassform det er til stede, dvs. at brannen i denne fasen er styrt av mengde brensel. Gass og væske trenger mindre varme for å utvikle seg, mens et fast materiale trenger mer varme, siden det må varmes opp slik at materiale avgir gass [10]. Overtenning er et fenomen som kan oppstå i vekstfasen, vanligvis oppstår overttenning når temperaturen i røyklaget overstiger ca. 600 °C og varmestrålingen fra røyklaget er mer enn 20 kW/m² [10]. Når overttenning inntreffer antenner alle brennbare flater og uforbrente røykgasser i røyklaget. Da vil overgangen fra vekst til fullt utviklet brann skje raskere.

2.1.4 Fullt utviklet brann

Når rombrannen har nådd fullt utviklet brann, kan ikke brannen vokse uten at den sprer seg til andre rom. Kjentegnet til en fullt utviklet brann er at det strømmer ut røykgasser som er ufullstendig forbrent, så antenner røykgassene på utsiden av rommet [10]. Denne fasen av en rombrann vil være ventilasjonskontrollert. Dvs. at størrelsen på brannen avhenger av hvor mye oksygentilførsel brannen får via vinduer, dører og andre åpninger i rommet.

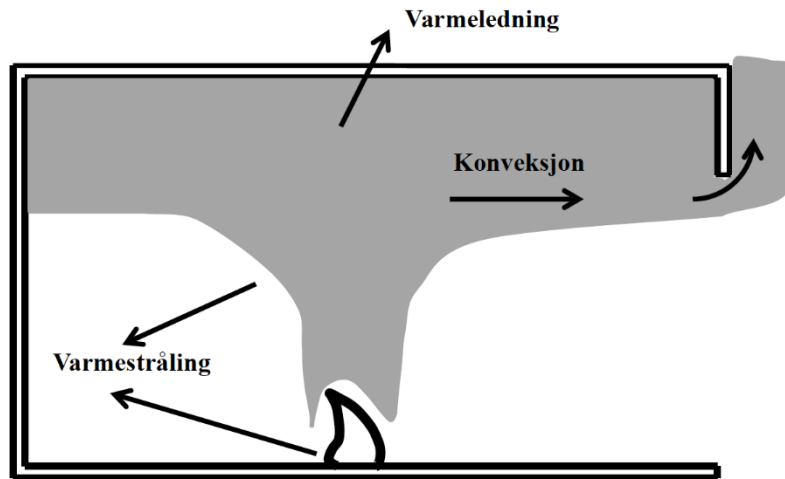
2.1.5 Utbrenning

Når mengden brennbart materiale som pyrolyserer reduseres starter utbrenningsfasen. Dvs. at energiproduksjonen i brannen reduseres ettersom det ikke er nok brennbart materiale til å opprettholde størrelsen på brannen, og brannen blir igjen brenselkontrollert. Når dette skjer synker temperaturen i rommet, og rommet blir gradvis avkjølt. Denne fasen blir dermed også kalt for avkjølingsfasen [10].

2.2 Varmetransport

Varmetransport blir definert som transport av energi fra varme til kalde områder. Hvilken transportmekanisme som er dominerende avhenger av aggregattilstander til stoffet energien beveger seg gjennom [10].

Et branntilløp produserer store mengder energi som blir transportert vekk fra brannen. Energitransporten er styrt av tre ulike mekanismer, konduksjon, konveksjon og varmestråling, se Figur 2. Hvilken transportmekanisme som er dominerende påvirkes av hvilken fase brannen befinner seg [10].



Figur 2 - De ulike varmetransport-mekanismene i en rombrann [10]

2.2.1 Konduksjon

Konduksjon betegnes som varmetransport i faste materialer [10]. Evnen et material har til å lede varme avhenger av type material. Eksempelvis er materialer med god evne til å lede elektrisk strøm også godt egnet som varmeledere. Fourier's lov beskriver stasjonær varmeledning og er gitt av:

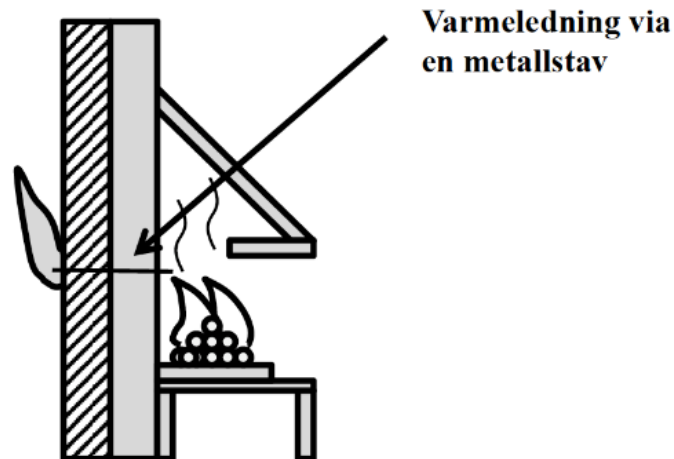
$$\dot{q}''_{kond.} = k_x \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.3)$$

k_x er materialets spesifikke varmeledningsevne i horisontal retning ($W/m \cdot ^\circ C$)

ΔT er temperaturgradienten i materialet ($^\circ C$)

Δx er tykkelse av materiale (m)

Brannspredning som følge av varmeledning skjer oftest via materialer med høy varmeledningsevne, som metallrør, armeringsjern eller andre konstruksjonsdeler i metall. Spredningen kan oppstå ved at gjennomføringer av metall ikke er tilstrekkelig utført for å forhindre varmeledning. Eksempelvis et metallrør på tvers av en vegg, se Figur 3.



Figur 3 - Varmeledning via et metallrør på tvers av en vegg [10]

2.2.2 Konveksjon

Konveksjon er varmetransport fra et fluid, gass eller væske, til overflaten av et fast stoff. Det er to typer konveksjon; naturlig- og tvungen konveksjon. Naturlig konveksjon skyldes oppdrift, mens tvungen konveksjon er strømming som påvirkes av en ekstern kilde, eksempelvis en vifte [10]. Konveksjon kan uttrykkes ved Newton's nedkjølingslov [10]:

$$\dot{q}''_{konv} = h \cdot \Delta T \quad (2.4)$$

h er konveksjonsfaktoren ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

ΔT er temperatur differansen mellom væsken og overflaten (K)

Konveksjonsfaktoren h avhenger av fluidegenskaper, geometrien på objektets overflate og type strømming. Type strømming avhenger av fluidhastigheten og hvor turbulent fluidstrømmen er. Økt hastighet og turbulens skaper en mer effektiv varmeoverføring ved konveksjon [10].

Brannspredning som følge av konveksjon skjer når røyk og flammer transporterer store mengder energi, slik at materialer rundt brannen antenner. Forvarming av materialer skjer via konveksjon slik at når flammene når materialet vil den antenne raskere. Det kan også oppstå spontanantennelse som følge av høye temperaturer i røyklaget.

2.2.3 Varmestråling

I motsetning til konduksjon og konveksjon bruker ikke varmemstråling fluid eller et fast materiale for å transportere energi. Varmestråling er energi som transporteres ved elektromagnetiske bølger [12]. Stefan-Boltzmann gir den maksimale strålefluksen til et objekt. Ligningen er proporsjonal med temperaturen i Kelvin opphøyd i fjerde (T^4) og er derfor dominerende varmeoverføringsmekanismen ved høye temperaturer, se formel 2.5.

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.5)$$

ε er emissiviteten til et materiale

σ er Stefan-Boltzmann-konstant $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²K⁴).

T er temperaturen (K)

Emissiviteten/strålingsevnen (ε) avhenger av materialeegenskapen til objektet som avgir stråling. Emissiviteten er forholdet mellom energien et objekt ville sendt ut i form av varmemstråling og energien et svart legeme med samme temperatur ville sendt ut. Svart legeme har $\varepsilon = 1$ og er en perfekt mottaker av stråling, der $0 < \varepsilon < 1$ [10].

Ved varmemstråling mellom to objekter må en i tillegg ta hensyn til avstander, vinkler og størrelser mellom avsender og mottaker. Dette er betraktet gjennom synsfaktoren ϕ ($0 < \phi < 1$). Tilnærminger av synsfaktor kan finnes i tabeller og diagrammer [10].

Ligningen for stråling mellom to objekter beskrives i formel 2.6:

$$\dot{q}_E'' = \phi \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.6)$$

ϕ er synsfaktor

ε er emissiviteten til et materiale

σ er Stefan-Boltzmann-konstant $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m²K⁴).

T er temperaturen (K)

2.3 Passiv brannsikring og brannmotstand

Hensikten med passiv brannsikring er å beskytte bygningsdeler mot brannpåvirkning. Krav til hvor lang tid bygningsdelen skal tåle brannpåvirkningen bestemmes ut fra retningslinjer i TEK 17. Tiden representerer den tilgjengelige rømningstiden og brannslukking i bygget [13].

Brannmotstand uttrykker tiden en konstruksjon motstår brannpåvirkning og bevarer sine lastbærende og brannskillende funksjoner, som bæreevne, integritet og isolasjon.

Brannmotstanden testes i ovn som følger en standard tid-temperaturkurve.

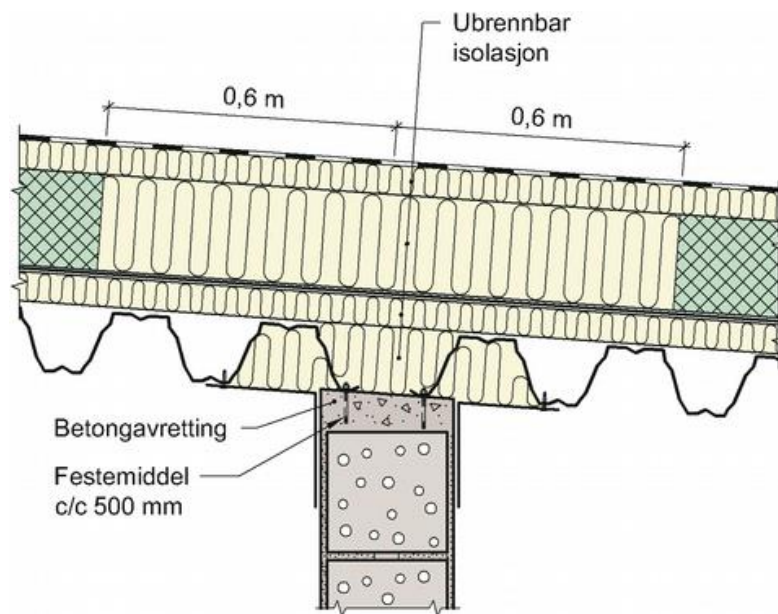
Brannmotstanden uttrykkes med forkortet bokstavbetegnelse og angitt tid. Verdiene går fra 15 til 240 minutter. En bærende branncellebegrensende vegg kan for eksempel ha forkortelsen REI 30 [4], hvor (R) er evnen til å motstå brannpåkjenning på en eller flere sider i den gitte tidsperioden, uten at den mister nødvendig bæreevne og stabilitet, når den samtidig er påført mekanisk last. Integritet (E) er evnen til å motstå brannpåkjenning på en side, uten at brannen smitter igjennom som følge av gjennomtrengning av flammer eller varme gasser. Isolasjon (I) er evnen til å motstå brannpåkjenning på en side, uten at brannen overføres til baksiden som følge av betydelig varmeledning. Varmeledningen skal være så begrenset at overflaten på baksiden eller annet materialet i nærheten ikke blir antent.

2.3.1 TPF Informerer nr. 6

TPF Informerer nr. 6 [9] er et informasjonsblad som er laget av takprodusentenes forskningsgruppe (TPF) i samarbeid med *SINTEF Byggforsk*. Informasjonsbladet bygger på funksjonskrav og ytelsesnivåer gitt i byggt teknisk forskrift 2010 (TEK) til plan og bygningsloven med tilhørende veiledning. *TPF Informerer nr. 6* gir eksempler på branntekniske løsninger for takkonstruksjoner utført etter veiledningen til TEK 10 [14]. På bakgrunn av at informasjonsbladet bygger på funksjonskrav og ytelsesnivåer gitt i byggt teknisk forskrift 2010 (TEK), vil løsningene gitt i informasjonsbladet vanligvis kunne brukes uten ytterligere dokumentasjon. De branntekniske løsningene for takkonstruksjoner vil ivareta faren for brannspredning for branner som oppstår både utvendig og innvendig.

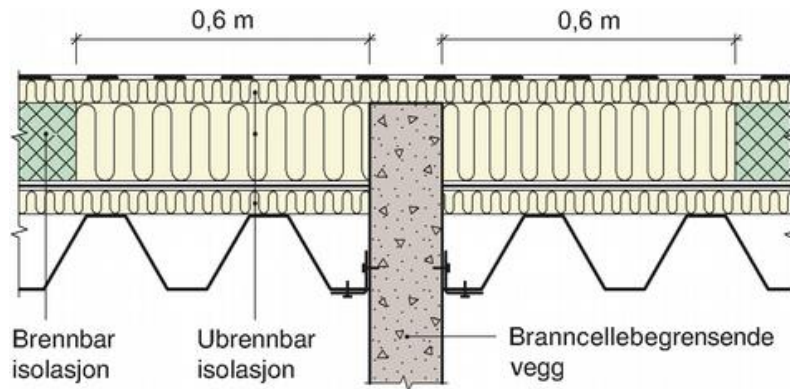
For bærende stålplatetak som føres over branncellebegrensende konstruksjoner angir *TPF Informerer nr. 6* at stålplatetaket skal brytes over veggen, slik at stålplatetaket ikke føres kontinuerlig over brannskillet (se Figur 4). Slik *TPF Informerer nr. 6* har anvist skal

profileringen i ståltaket fylles med ubrennbar isolasjon. Brennbar isolasjon skal beskyttes med 30 mm ubrennbar isolasjon på over- og undersiden av den brennbare isolasjonen. Det skal tettes mellom stålplattetaket og veggen, men siden dette kan få komplikasjoner skal det være 60 cm med ubrennbar isolasjon i taket på begge sider av veggen. Denne løsningen på takkonstruksjonen er godkjent på byggverk i brannklasse 1-2 (henviser til VTEK 17 [15].)



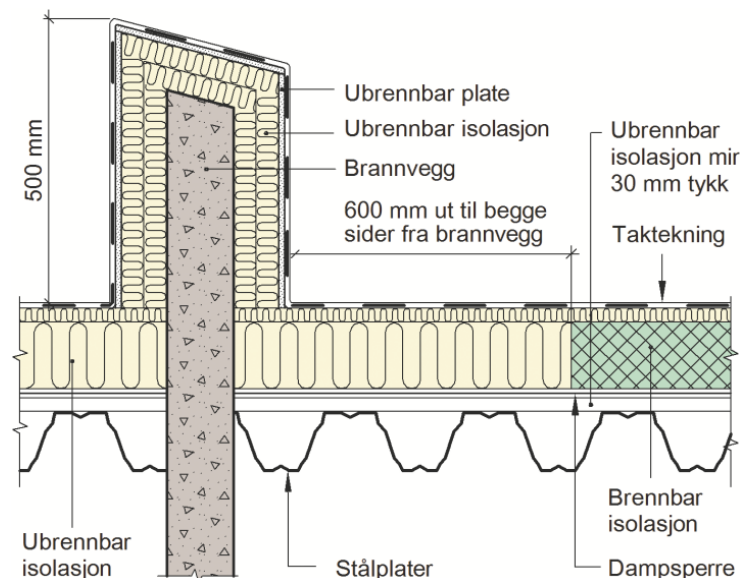
Figur 4 - Eksempel på løsning for stålplattetak som føres over branncelle begrensende konstruksjon. [9]

For stålplattetak inntil branncellebegrensende vegg som vist på Figur 5, skal veggen føres opp i isolasjonssjiktet. Det skal minimum være 30 mm ubrennbar isolasjon som beskytter brennbar isolasjon på oversiden. På begge sider av veggen skal det være 0,6 m ubrennbar isolasjon og undersiden skal være beskyttet av minimum 30 mm ubrennbar isolasjon. Det skal brukes mutterbolter med store skiver for å feste opplegget for stålplatene. En slik type konstruksjon kan benyttes i brannklasse 1-2.



Figur 5 - Stålplatetak inntil branncellebegrensende vegg [9]

Figur 6 viser hvordan tilslutning mellom seksjoneringsvegg eller brannvegg og tak skal gjennomføres. Der veggen føres minimum 500 mm over taket skal isolasjonen være ubrennbar og ha en bredde på minst 600 mm til hver side, se Figur 6. Løsningen skal tilfredsstillere *Byggforskserien 520.339* [16] og *525.207* [17].



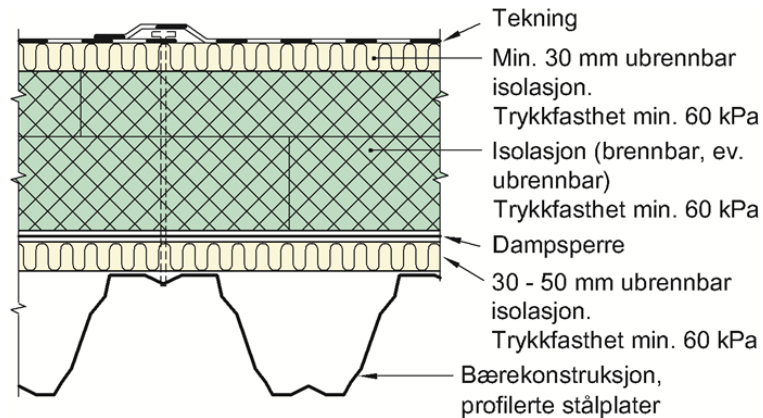
Figur 6 - Tilslutning mellom vegg og tak [6]

2.3.2 Teknisk godkjenning nr. 20073

Teknisk Godkjenning nr. 20073 [6] omfatter *Tata Steel* stålplatetak, hvor takkonstruksjonen har en dokumentert brannmotstand (R15 – R60) og stålplatetaket er bærende med profilerte stålplater. I henhold til *Forskrift om Omsetning og Dokumentasjon*

av *Produkter til Byggverk (DOK)* [7] og *Byggteknisk Forskrift (TEK10)* [8] tilfredsstillende *Tata Steel* stålplatetak disse kravene og er vurdert egnet til dens bruk.

Figur 7 viser den prinsipielle oppbygningen av *Tata Steel* stålplatetaket.

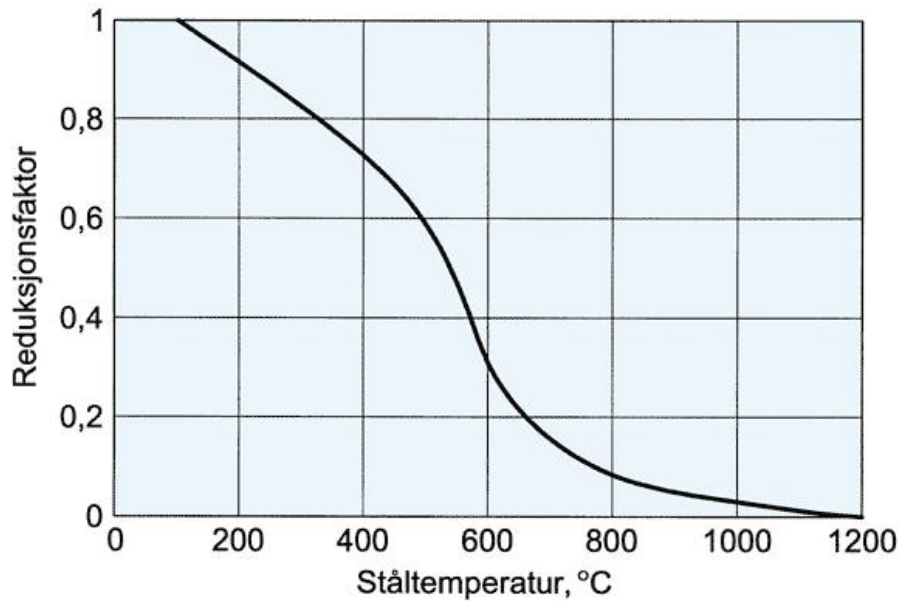


Figur 7 - Prinsipiell oppbygning av *Tata Steel* stålplatetak. Angitt trykkfasthet til isolasjonsmaterialene gjelder for 10% deformasjon [6]

Tata Steel Stålplatetak med brannmotstand R15 – R60 kan brukes i bygg i brannklasse 1 og 2 med både skrå og flate takkonstruksjoner. Det kan også brukes i brannklasse 3 dersom isolasjonen er ubrennbar i hele tverrsnittet av taket.

2.3.3 Stålets egenskaper ved brann

Byggforskserien [18] forklarer at de fleste belastede stålkomponenters bæreevne har et kritisk temperaturområde ved temperatur på ca. 500 °C. Ved denne temperaturen vil stålet miste ca. 50 % av sin bæreevne (se Figur 8). Stålkonstruksjoner som er ubeskyttet vil vanligvis ikke kunne nå en brannmotstand som er høyere enn 10-15 minutter. Ved bruk av sertifiserte brannisoleringsystemer på stålkonstruksjoner vil en kunne oppnå en brannmotstand på inntil 90 minutter.



Figur 8 - Reduksjonsfaktor for flytegrense til konstruksjonsstål avhenger av stålets temperatur [18]

2.3.4 Akseptkriteriet for temperaturforandring

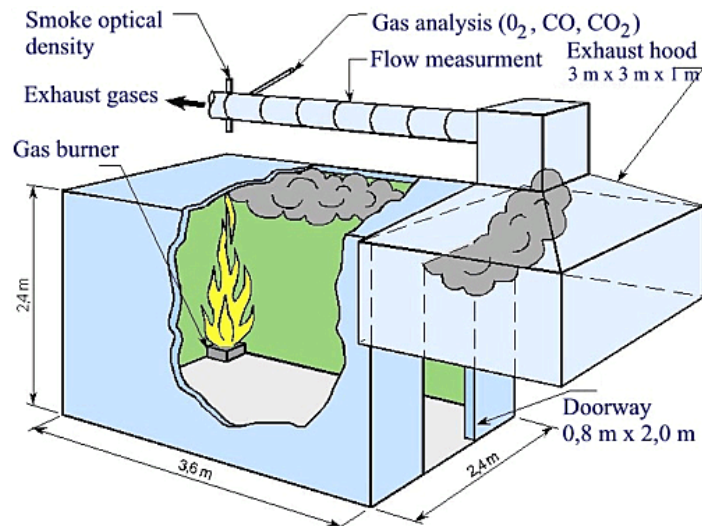
Bygningsdelens brannmotstandsevne klassifiseres etter de nye Euroklassene gitt i NS-EN 13501-2 [19]. Kriterier for temperaturstigning er at gjennomsnittlig temperaturøkning maksimalt kan være 140°C. Temperaturøkningen på et punkt skal ikke overstige 180°C.

2.4 Branntesting

2.4.1 ISO-rom

Ifølge ISO 9705-1:2016 [20] er ISO-rom et rom med standardiserte mål som brukes til *Room Corner* branntester. Rommet skal plasseres inne, og et stort nok rom slik at omgivelsene ikke vil ha en innvirkning på testbrannen. Testrommet skal være konstruert av ubrennbare materialer som har en tetthet mellom 500 kg/m³ og 800 kg/m³.

Konstruksjonens tykkelse skal minimum være 0,02 m. Resterende dimensjoner for et fullskala ISO-rom ses i Figur 9.



Figur 9 - Dimensjoner på fullskala ISO-rom [21]

2.4.2 Standardbrann og ISO 834 kurve

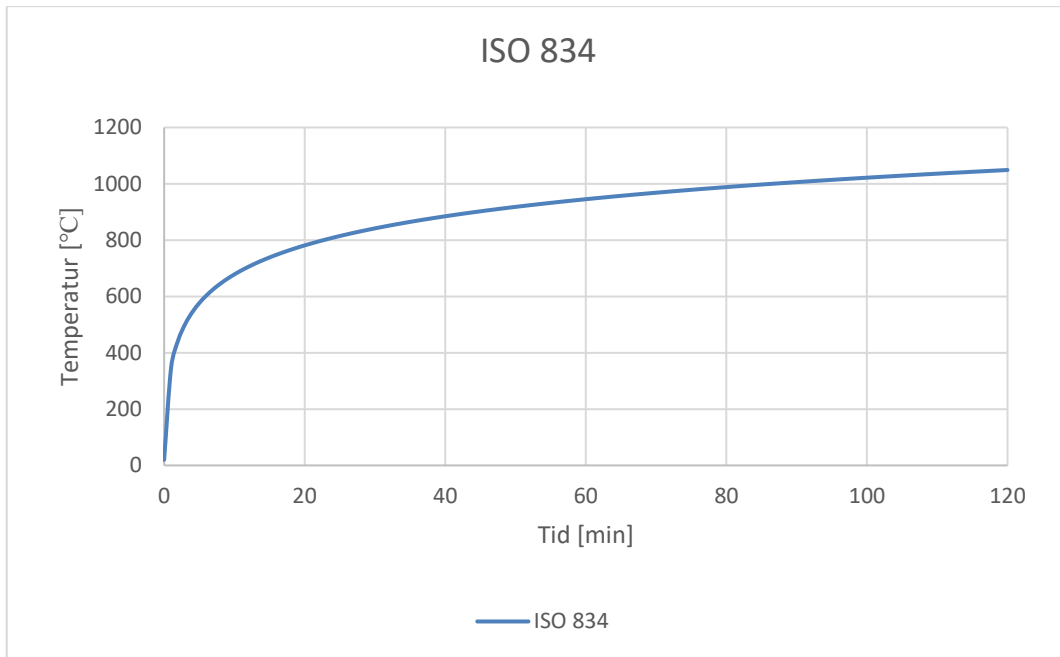
Hvordan en brann opptrer kan beskrives med bl.a. informasjon om brenselet, ventilasjon og plassering av objektet som brenner. Standardbranner er uttrykt som tid-temperaturkurve og er innført fordi det stilles stor usikkerhet til variabler som inngår i testing av brannscenarier. En standardbrann er konservativ og brukes kun i forbindelse med prøving av bygningsmaterialer og bygnings-konstruksjoner. I Norge brukes standard tid-temperaturkurven beskrevet i ISO 834 vist i Figur 10 og er gitt av [10]:

$$T - T_0 = 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad (2.7)$$

T er temperaturen i rommet ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 er start-temperaturen i rommet ($^{\circ}\text{C}$) ved tiden lik null.

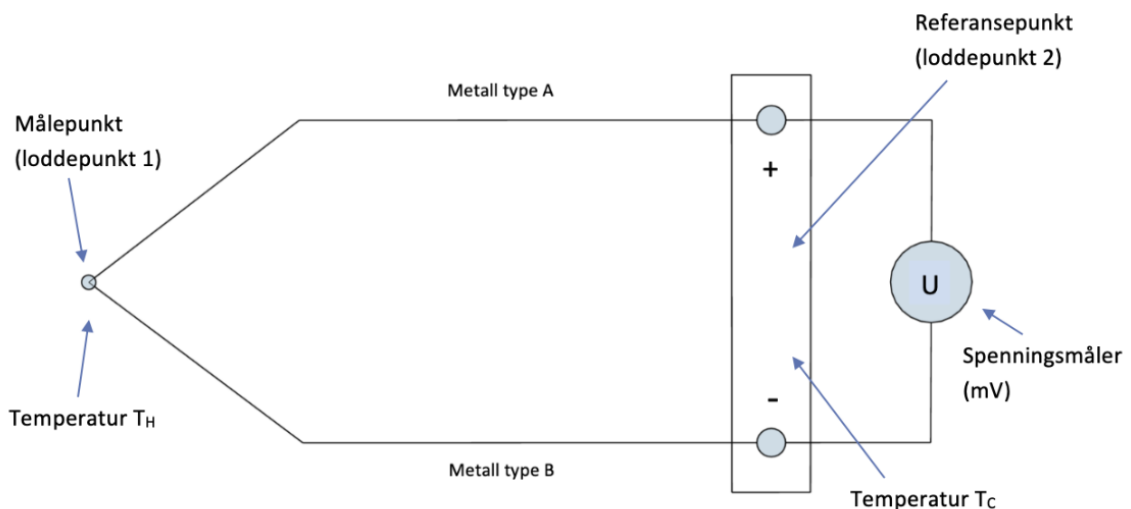
t er ved en gitt tid (min)



Figur 10 – Standard tid – temperaturkurve, ISO 834 gjennom et 120 minutters tidsforløp

2.4.3 Termoelement

Termoelement er en type temperaturmåler som brukes hvor det forventes å måle høye temperaturer. Termoelementet består av to metalltråder av forskjellige materialer, se Figur 11. Metallene er forbundet i to loddepunkter slik at det dannes en strømkrets. Mellom loddepunktene dannes det en elektromagnetisk spenning som brukes til å beregne temperaturen. Spenningen påvirkes av temperaturforskjellen i loddepunktene og materialeegenskapene i elementene, og vil øke ved økende temperaturforskjell. Videre kobles termoelementet direkte i et voltmeter eller potensiometer for å beregne temperaturen [22] [23].



Figur 11 – Oppbygging og funksjon av et termoelement

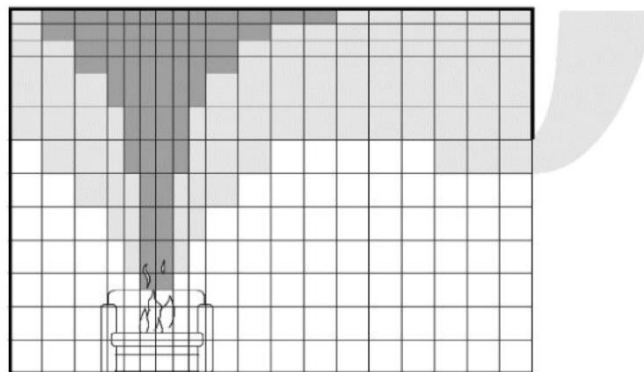
2.5 Brannmodellering

2.5.1 Fire Dynamics Simulator

Fire dynamics simulator (FDS) er et *Computational Fluid Dynamics (CFD)* program som er et hjelpemiddel for å løse problemer i forbindelse med brannsikring og for å studere brannodynamikk og forbrenning [24] [25].

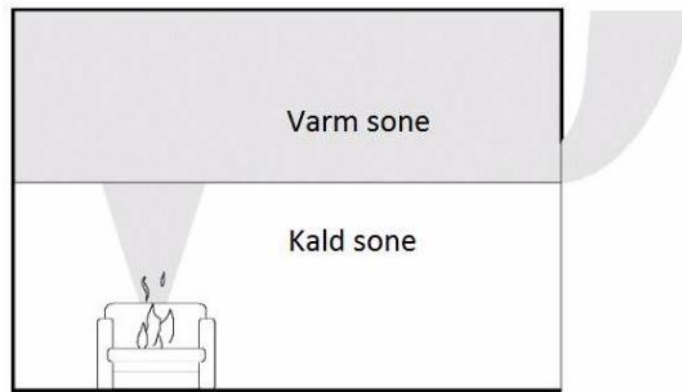
CFD program deler brannrommet inn i et stort antall kontrollvolum, se Figur 12. Kjernen i CFD modeller er bygget opp på bevaringsligningene for masse, energi og bevegelsesmengde. Andre fysiske fenomener løses ved hjelp av submodeller. Eksempler på slike fenomener innen brann er: Turbulens, stråling, sot og forbrenning [11]. FDS er en LES-kode, dvs. at de beregner de store virvlene ved hjelp av bevaringsligning og modellerer de små turbulens virvlene [26] [24].

2.5.2 Argos



Figur 12 - CFD modell der volumet deles inn i små kontrollvolumer.

Argos er to-sone modell som brukes til å simulere en brannutvikling og røyktransport i en rombrann [27]. To sone modell er et begrep for en kategori brannmodeller som brukes til å simulere rombrann hvor rommet deles inn i en eller to soner (se Figur 13). Dersom brannrommet deles inn i to soner er øvrige sone for varme gasser og nedre sone for kald luft. Det er en deterministisk modell som beregner forholdene med bevaringsligninger for masse og energi, og er tilnærmet ved modeller for røyksøyler [11].



Figur 13 - To sone modellering med varm og kald sone

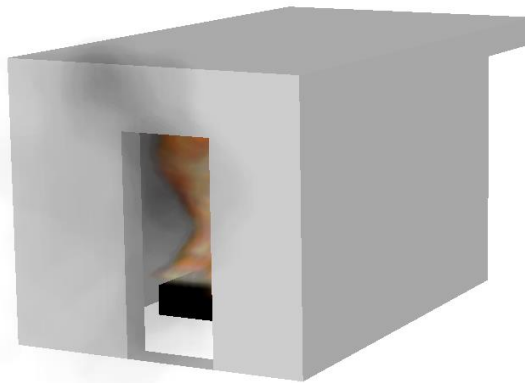
3. Metode

Dette kapitlet gir en beskrivelse av forsøksoppsettet, hvordan forsøkene er utført, samt hvilket forarbeid som er gjort. Problemstillingen i oppgaven er løst ved å utføre forsøk. Til sammen er det utført 6 forsøk, 3 med 40 cm takutstikk og 3 med 198 cm takutstikk.

3.1 Forarbeid

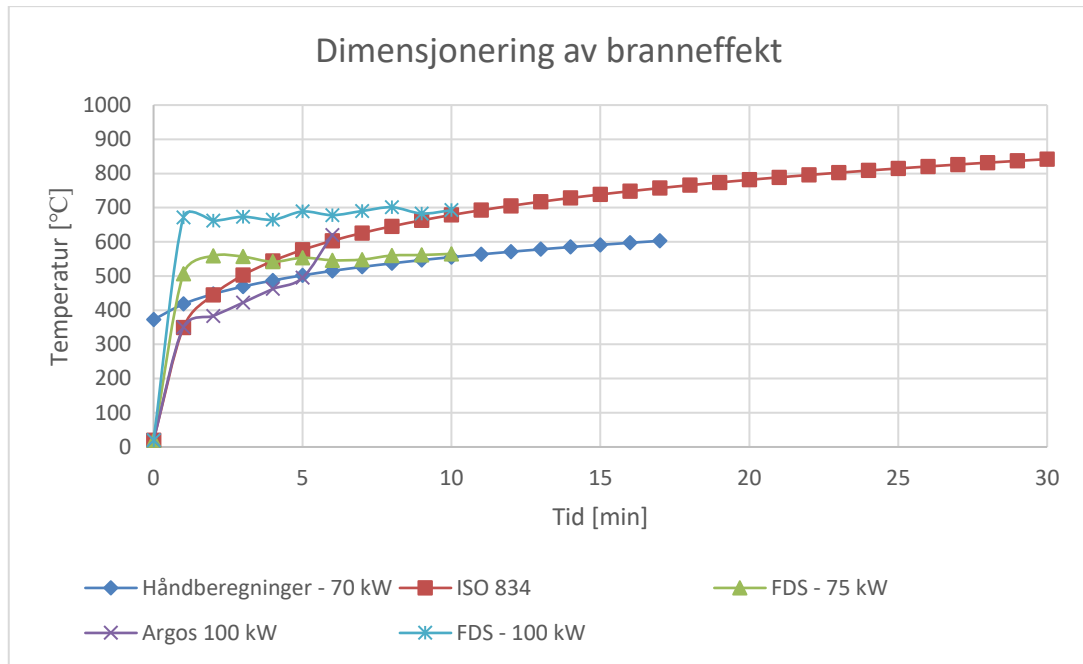
3.1.1 Dimensjonering av branneffekt

Ved gjennomføring av forsøket ble ISO 834 benyttet for varmeeksponering av taket i brannrommet. Gjennomføringen av forsøket er satt til 30 minutter og ifølge ISO 834 er temperaturen etter 30 minutter 842 °C.



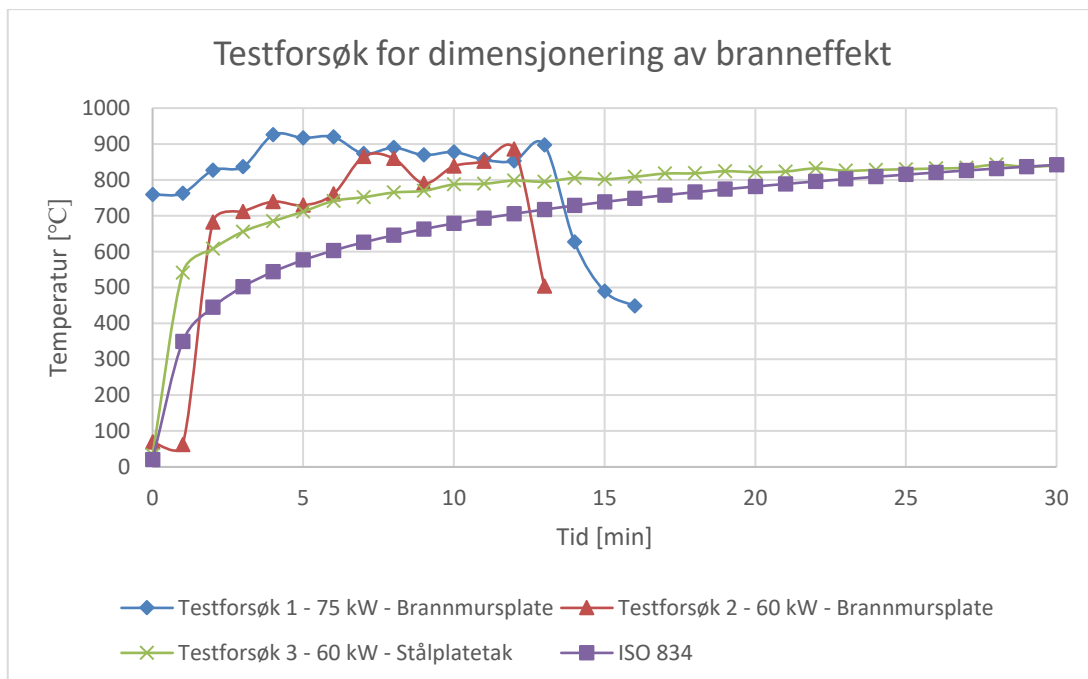
Figur 14 - Modell fra FDS simulering for dimensjonering av branneffekt

For å oppnå 842 °C inne i brannrommet ble branneffekten beregnet. FDS, Argos og håndberegninger er benyttet for å estimere en branneffekt. Figur 14 viser en modell av simuleringen gjort i FDS. Se formel 2.2 for hvordan håndberegning som er benyttet for å regne ut temperatur. Beregningene førte til en viss sammenheng mellom de tre beregningsmetodene og ISO 834, se Figur 15. I følge ISO 834 er temperaturen etter 5 minutter 576 °C. Ved denne temperaturen kan det forventes overtenning. Det ble derfor valgt å undersøke hvilken effekt som måtte til for å oppnå 576 °C etter 5 minutter.



Figur 15 - Dimensjonering av branneffekt. Sammenligning mellom beregningsmetoder

Beregningene vist i Figur 15 viser at effekten måtte være i størrelsesorden 70 kW og 100 kW. Det ble derfor gjennomført 3 testbrenninger som er presentert i Figur 16.



Figur 16 - Testforsøk for dimensjonering av branneffekt

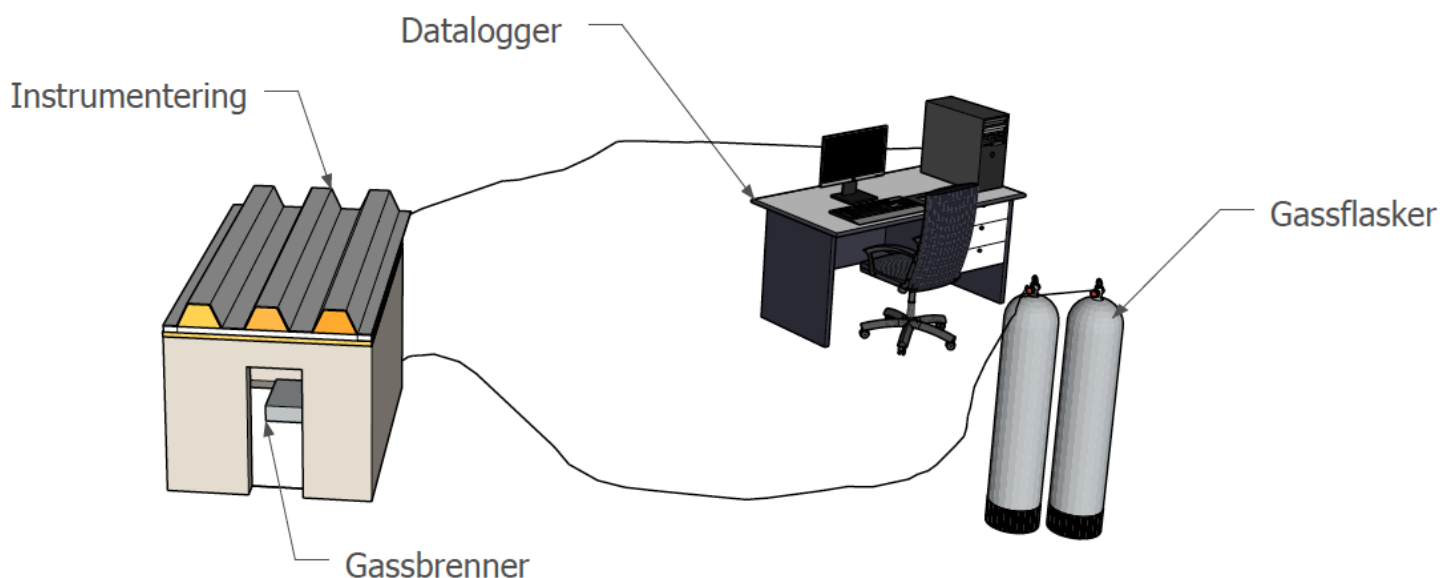
Testforsøk 1 var av 1/3 ISO-rom med brannmursplate som tak. Branneffekten ble satt til 75 kW. Temperaturen i rommet ble høyere enn 900 °C. Testforsøk 2 hadde samme forsøksoppsett som testforsøk 1, men med en branneffekt på 60 kW. Temperaturen stabiliserte seg rundt 850 °C. Testforsøk 1 og 2 ble brukt for å se om det var mulig å oppnå ca. 842 °C etter 30 minutter med de beregnede branneffektene. Testforsøk 3 ble gjennomført med en branneffekt på 60 kW. I motsetning til testforsøk 1 og 2, ble det i testforsøk 3 brukt et stålplatetak som ble designet som en del av denne oppgaven, vist i Figur 18. Testresultatene viste at branneffekten i forsøkene måtte være 60 kW for å oppnå ca. 842 °C i brannrommet etter 30 minutter. Figur 16 viser også at temperaturene fra testforsøkene ligger på den konservative siden i forhold til ISO 834.

3.2 Forsøksoppsett

Dette kapitlet gir en beskrivelse av forsøksoppsettet. Det ble fokusert på å bygge et mobilt og reproducerbart oppsett. Forsøksoppsettet deles inn i følgende hovedelementer, illustrert i Figur 17.

- Forsøksrigg
- Instrumentering
- Gassbrenner

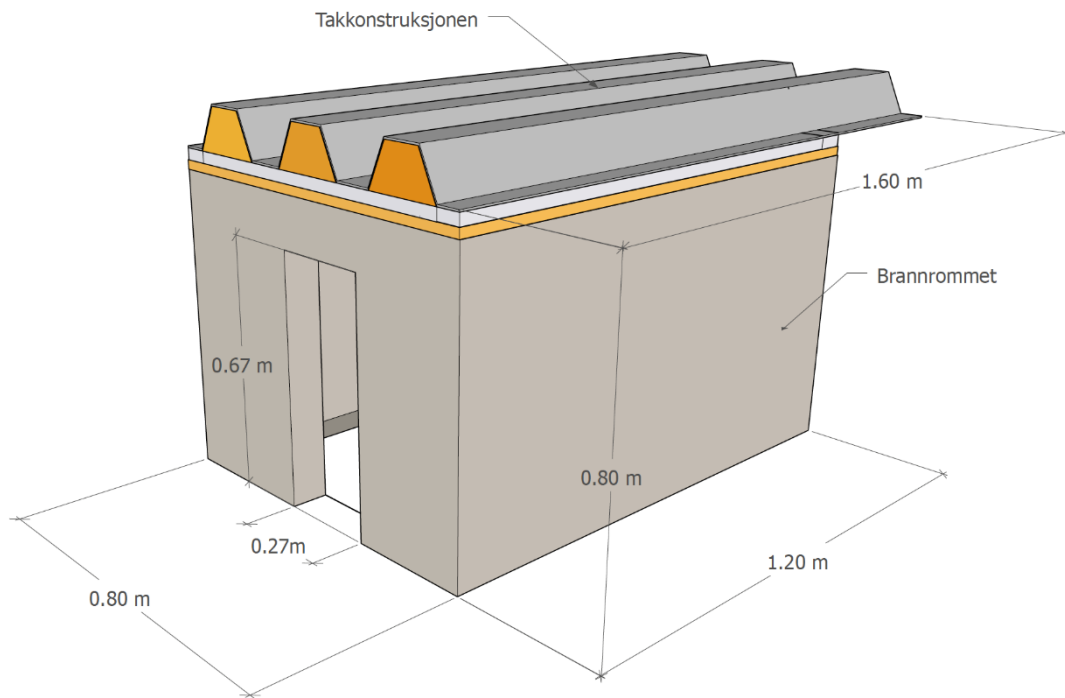
Det skiller mellom to forsøksserier i denne oppgaven. Forskjellen i oppsettet for de to seriene er at i forsøksserie 2 blir taket forlenget fra 40 cm til 198 cm. Se Vedlegg B: Bilder som er tatt under forsøkene.



Figur 17 – Prinsipiell skisse av forsøksoppsett med forsøksrigg, instrumentering og gassflasker

3.2.1 Forsøksrigg

Forsøksriggen består av to hoveddeler, et brannrom og en takkonstruksjon som vist i Figur 18. Rigget ble bygget slik at takkonstruksjonen enkelt kunne fjernes fra brannrommet mellom forsøkene. Ved å fjerne taket vil det redusere tiden for nedkjøling av forsøksrigget. Det ble bygget 3 identiske takkonstruksjoner slik at nytt forsøk kunne startes med en gang rigget var tilstrekkelig nedkjølt.

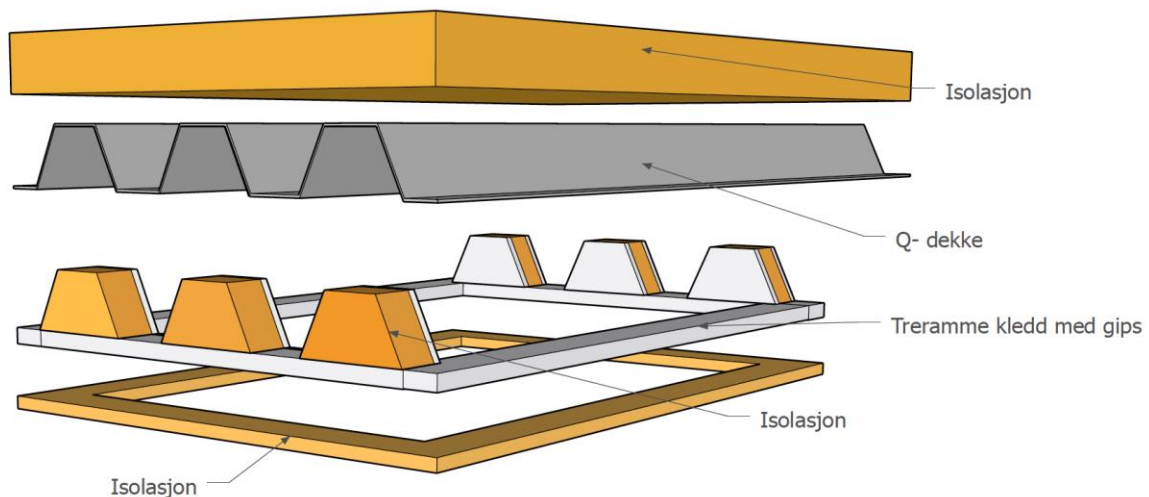


Figur 18 - 1/3 ISO-rom med påmontert stålplatetak og dimensjoner

Brannrommet som ble benyttet i forsøkene er et ISO 9705 standardrom skalert ned til 1/3. Figur 18 viser en skisse av brannrommet, hvor gjeldende mål er påført. Rommet er murt opp i ubrennbar porebetong av typen Siporex, brannklasse A1. Av hensyn til oppgavens omfang, økonomi og tilgang til materialer er valgt å bruke et nedskalert ISO-rom. Det er antatt at det vil være tilstrekkelig for å representere et fullskala forsøk.

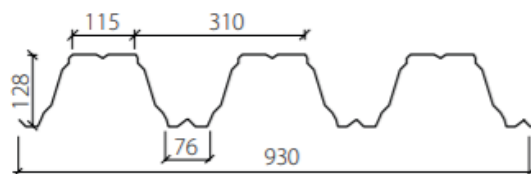
Figur 18 illustrerer forsøksriggen når takkonstruksjonen og brannrommet er montert sammen. Her kommer det frem at 1.20 x 1.00 m av stålplaten dekker brannrommet og føres uavbrutt over tverrsnittet. Det blir dermed et takutstikk på 0,40 m utenfor brannrommet på kald side. I stedet for å montere stålplatetaket på langs av brannskillet ble det montert på tvers, ettersom det vil være et større tverrsnittsareal stål som går gjennom brannskillet vil det være den mest kritiske situasjonen,

Selve Q- dekket (stålplatetaket) som testes i forsøkene monteres sammen med en treramme slik Figur 19 anviser. Rammen passer kant i kant med toppen av brannrommet og kledd med 2 lag gips for å beskytte treverket. Ved kortsidene av takkonstruksjonen ble gips og isolasjon ført helt opp under stålplaten som en fortsettelse av veggen. Tverrsnittet som skiller kald og varm side av stålplaten ble isolert med ubrennbar isolasjon og to lag med gips. Gipsen ble kuttet i fluks med stålplaten og gliper fuget med brannfuge. Over stålplatetaket ble det isolert med ubrennbar isolasjon. Det ble valgt å ikke isolere i profileringene på oversiden av taket, fordi det skulle undersøkes om varmeledningen var større eller mindre i profileringene som var isolert på begge sider, enn profileringene som var isolert på en side.



Figur 19 - Oppbygging til stålplatetak med isolasjon, treramme og gips

Stålplatetaket som er benyttet i forsøkene er av typen SP 128/930 høyprofilert stålplatetak fra *Tata Steel* med en tykkelse på 1 mm [28]. Dimensjonene på stålplatetaket er vist i Figur 20.



Figur 20 - Dimensjoner av stålplatetak brukt i forsøkene

I Forsøksserie 2 ble det bygget en tilsvarende ramme som i forsøksserie 1, men stålplatetaket ble forlenget slik at takutstikket på kald side ble 198 cm. Forlengelsen ble

utført ved å skjøte to stålplater sammen. Det ble utført en skjøt på 1,5 cm hvor stålplatene ble boltet sammen for å få stålplatene i kontakt med hverandre. Forlengelsen ble holdt oppe av en støtte bygget av trevirke. Figur 21 viser et bilde av forsøksriggen for forsøksserie 2.



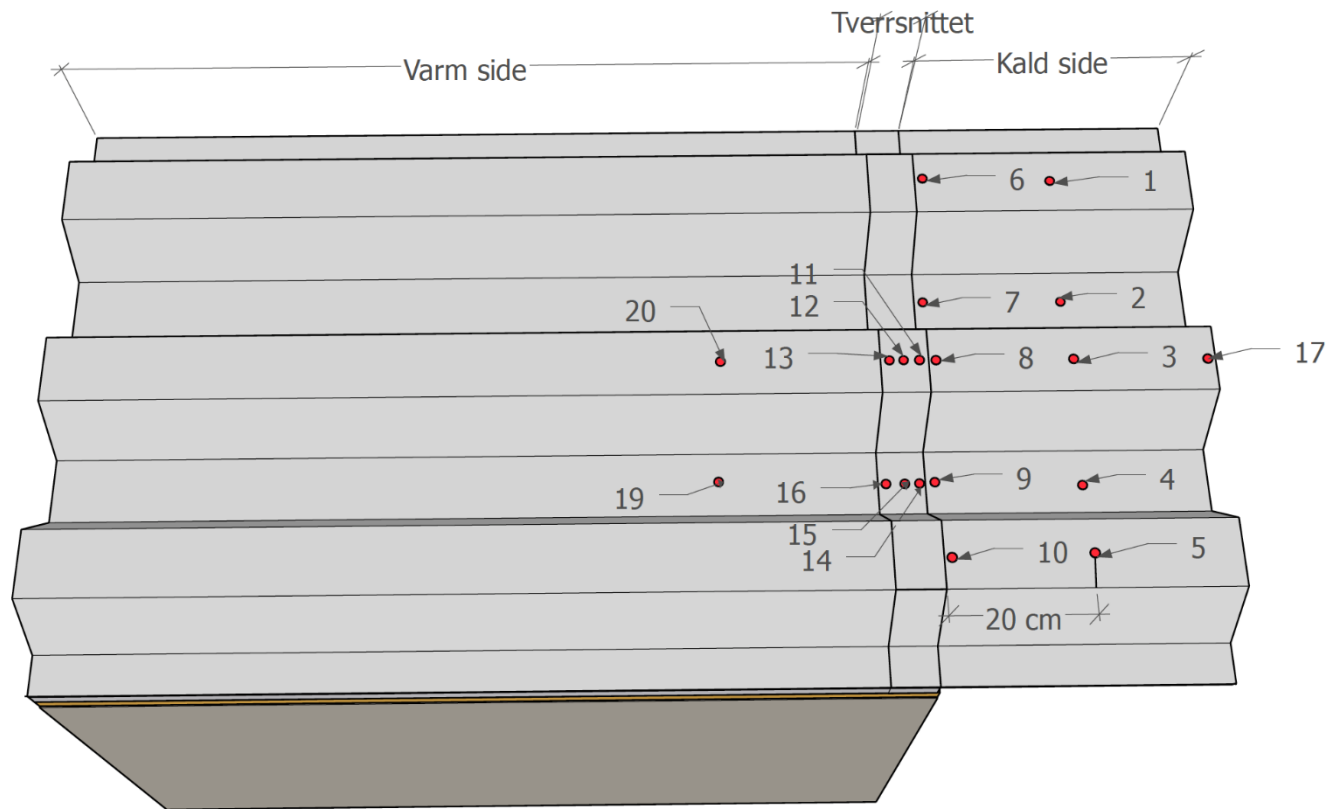
Figur 21 - Forlengelse av stålplatetaket

3.2.2 Instrumentering

Heretter omtales ståltaket i fire deler som vist i Figur 22:

- **Kald side:** delen av ståltaket som strekker seg utenfor brannrommet.
- **Varm side:** er delen som er over brannrommet.
- **Tverrsnittet:** veggen som skiller kald og varm side.
- **Brannrommet:** måling av temperatur inne i brannrommet

Videre viser Figur 22 en oversikt over hvor termoelementene ble plassert i forsøkene og hvilket nummer hvert enkelt termoelement representerer. Forsøksoppsettet ble instrumentert med totalt 20 termoelementer.



Figur 22 - Plassering av termoelementer i stålplatetak med nummerering

Kald side i Figur 22 ble instrumentert med 11 termoelementer, nr. 1-10 og nr.17.

Termoelement nr.1-5 ble montert 20 cm fra tverrsnittet, nr.6-10 ble montert 0,5 cm fra tverrsnittet, nr. 17 ble montert helt ytterst på kald side.

På varm side i Figur 22 ble det instrumentert tre termoelementer. To av termoelementene ble montert på oversiden av ståltaket nr.19 og nr.20. Termoelement nr. 20 ble montert oppå den midterste profileringen, mens nr. 19 ble montert nedi profileringen. Det tredje termoelementet nr. 18 ble plassert inne i brannrommet helt oppunder taket.

Tverrsnittet vist i Figur 22 ble instrumentert med 6 termoelementer nr.11-16. Tre av termoelementene ble montert oppå den midterste profileringen nr.11-13 og de tre siste ble montert nedi en profilering nr. 14-16.

Termoelementene ble montert på ståltaket med skruer som vist i Figur 23. Det var viktig at enden av termoelementene var i direkte kontakt med stålet. Termoelement nr. 18 ble ikke

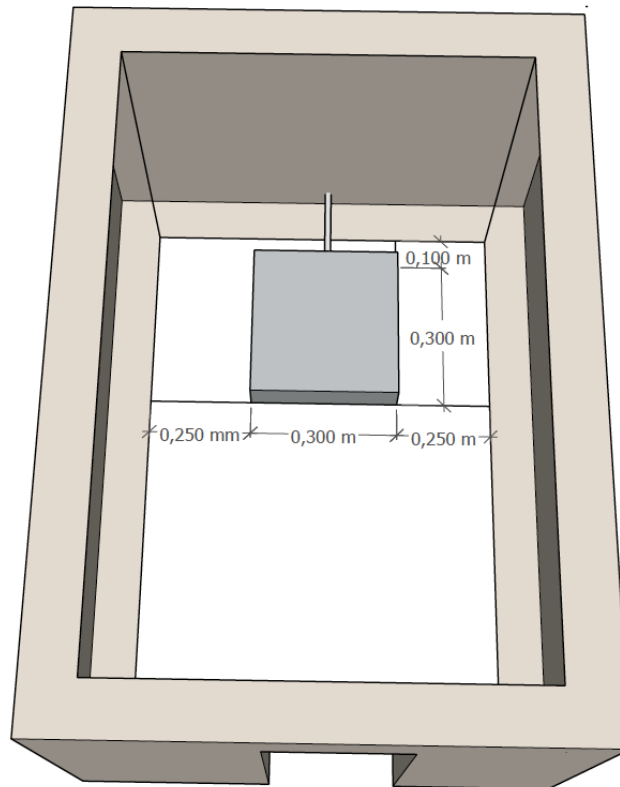
festet med skruer, men plassert ca. 10 cm oppunder taket. Det ble valgt å bruke termoelement av typen K, fordi termoelementene er beregnet for temperaturer opp mot 1100 °C [29].



Figur 23 - Festing av termoelementer i stålplattetak

3.2.3 Gassbrenner

Gassbrenneren som ble brukt i forsøkene var en kvadratisk sandbrenner med størrelsen 0,3 m x 0,3 m. Brenneren ble plassert som vist i Figur 24, 10 cm fra veggen og midt i rommet. Videre ble brenneren koblet opp mot en styringsenhet og to parallellkoblede gassflasker. Styringsenheten regulerte hvor mye gass som ble tilført forbrenningen og ga en konstant strøm av gass. Gassflaskene er 2 x 20 liter fylt med propan. Det ble valgt å benytte propangass som brensel framfor væske. Ved bruk av gass kan mengde brensel styres av en kontroller, mens massetapsraten i en væskebrann er styrt av tilbakestråling.



Figur 24 - Plassering av sandbrenner

4. Resultat og diskusjon

Dette kapitlet presenterer resultatene fra de praktiske forsøkene som ble gjennomført. Det ble totalt gjennomført 6 forsøk. Forsøkene kategoriseres i to ulike forsøksoppsett, der forsøk 1, 2 og 3 (forsøksserie 1) er forsøk med en enkel takplate og forsøk 4, 5 og 6 (forsøksserie 2) ble utført med en forlengelse av takplaten. Stålplatetaket er selvbærende og har ikke blitt utsatt for belastninger av vesentlig betydning under forsøkene.

Utgangspunktet for denne oppgaven er å undersøke konsekvensen ved å ikke splitte stålplatetaket over brannskillet. Av praktiske og økonomiske grunner er det ikke alltid dette gjennomføres.

Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvorvidt det blir temperaturer over akseptkriteriet på kald side, forårsaket av varmeledning via stålplatetaket. Forsøkene hadde en gjennomføringstid på 30 minutter, lik ytelseskravet for brannskillet som det ble tatt utgangspunkt i denne oppgaven. For å nå temperaturer ihht. ISO 834 ble gassbrannen satt til 1,4 g/s propan (60 kW).

Forsøkene er gjennomført med 1/3 ISO-rom, dette er en begrensning med tanke på at branneffekt er mindre enn det den ville vært i et fullskala forsøk. Ved bruk av 1/3 ISO-rom vil hele takflaten i rommet være utsatt for brannpåkjenningen, dette gjør at forsøket vil ligge på den konservative siden i startfasen.

Følgende delkapitler vil bli presentert:

- Temperatur i forsøksrommet for de ulike forsøkene opp mot ISO 834-kurven. (Termoelement nr. 18).
- Temperatur etter 30 min ved termoelementer som er plassert på oversiden av stålplaten, kald side (termoelement nr. 6-10).
- Temperaturer 20 cm utenfor brannrommet.
- Temperaturer i tverrsnittet.

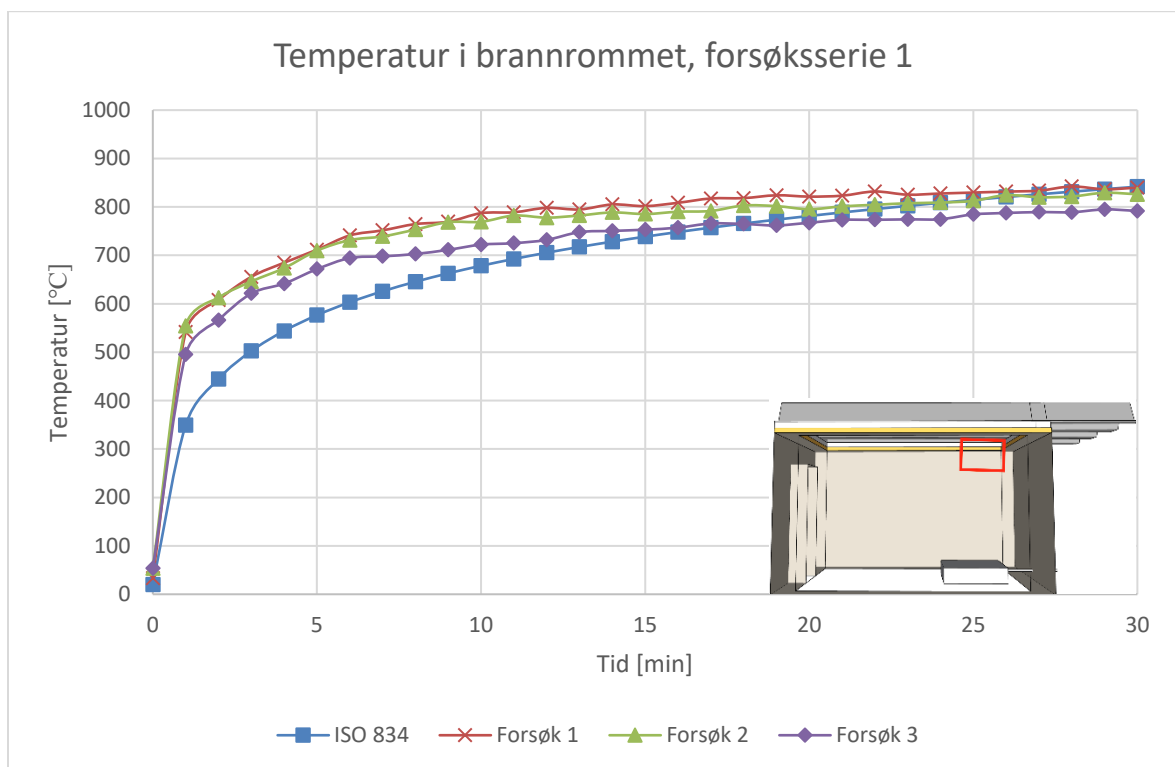
4.1 Temperaturer i forsøksrommet

I alle av forsøkene ble temperaturen inne i brannrommet målt i 30 minutter. Det ble benyttet samme termoelement for samtlige forsøk. Termoelementene i hvert av forsøkene

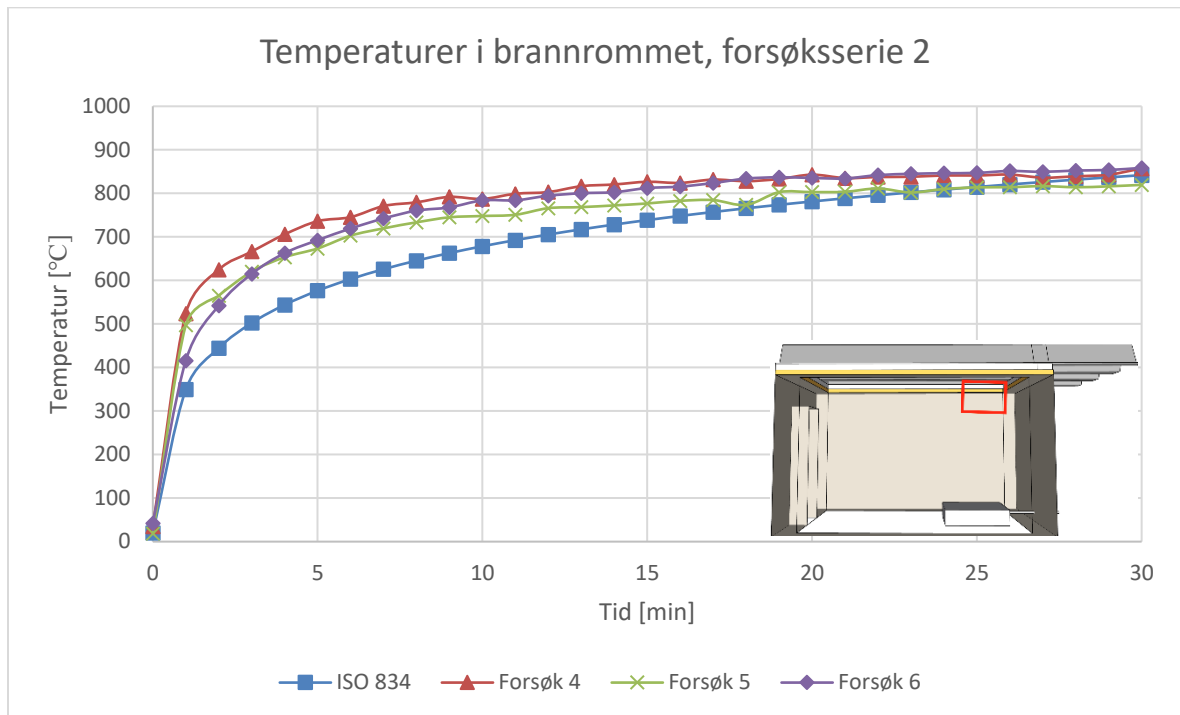
ble plassert så godt det lar seg gjøre i samme posisjon. Romtemperaturene i forsøksserie 1 er presentert i Figur 25, og Figur 26 presenterer romtemperaturen i forsøksserie 2.

Romtemperaturene er plottet sammen med en ISO 834-kurve. Det var ønskelig å følge denne kurven som utgangspunkt for temperaturene i forsøksbrannen. Temperaturene i forsøksserie 1 og 2 ble relativt like. Forsøkene øker hurtigere enn ISO 834-kurven i starten, men stabiliserer seg på 700-800 °C etter ca. 15 minutter. Store deler av forsøksstiden lå temperaturen inne i brannrommet på konservativ side av ISO 834-kurven.

Temperaturen i forsøksrommet i forsøksserie 1 og 2 lå på konservativ siden gjennom store deler av forsøket for utenom mot slutten av forsøkene da temperaturen jevnet seg ut ved en temperaturforskjell på ca. 50 °C under ISO 834. Figur 25 og Figur 26 viser temperaturutviklingen gjennom hele forsøket opp mot temperatur-tid kurven i ISO 834.



Figur 25 - Temperaturer i brannrommet, forsøksserie 1



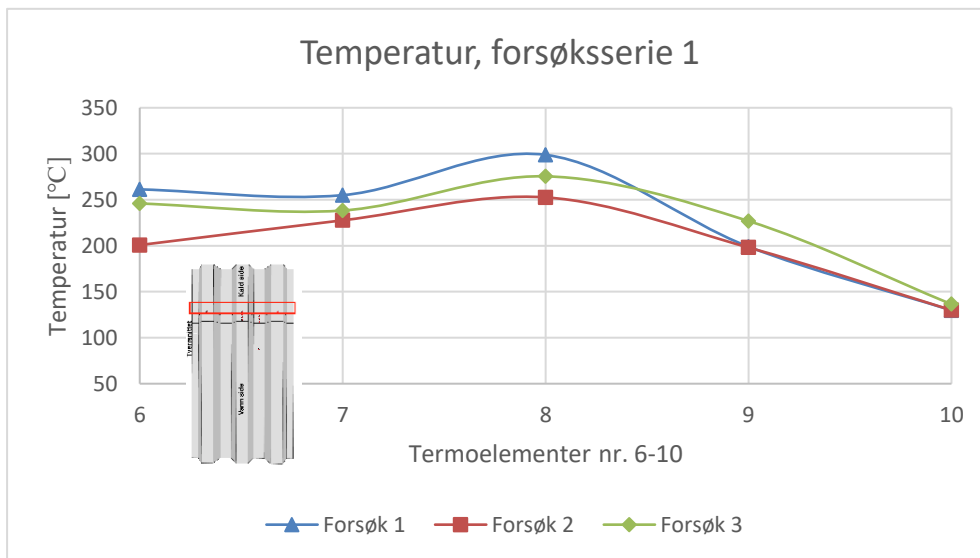
Figur 26 - Temperaturer i brannrommet, forsøksserie 2

4.2 Temperatur utenfor brannrommet

Temperaturene for termoelement 6-10 i forsøksserie 1 og 2 presenteres i Figur 27, Figur 28 og Tabell 2. Her plottes temperaturene på y-aksen og termoelementene på x-aksen. For hvert av termoelementene ble temperaturene i forsøksserie 1 og 2 nokså like.

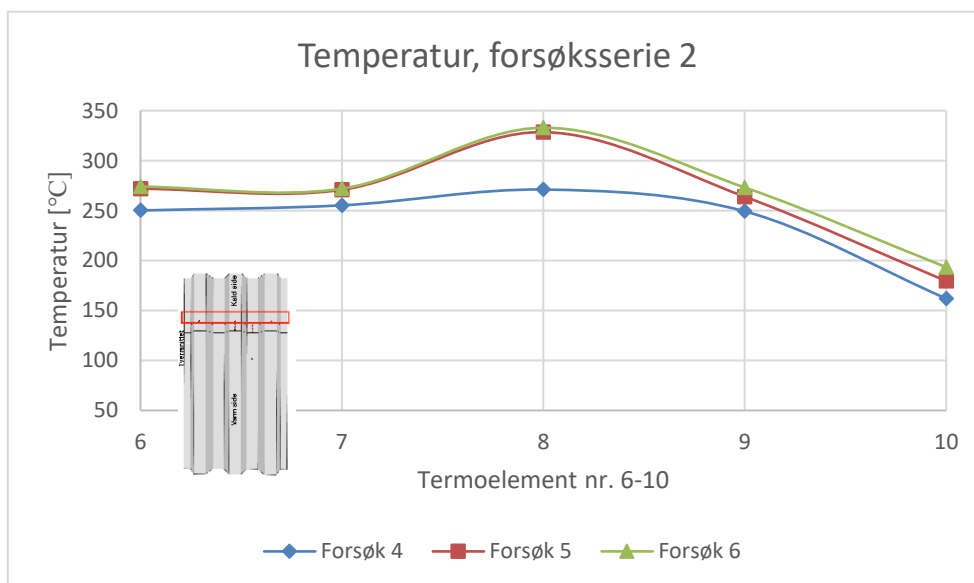
De loggførte resultatene fra forsøksserie 1 var nokså like, se Figur 27. Det ble derfor utført en forlengelse av stålplatetaket på kald side for å sammenligne og vurdere resultater når varmen har en større avkjølingsflate. Alle forsøkene er konservative ift. ISO 834 og utført med like variabler, som lik effekt, brensel, varighet for temperatureksponering, plassering av brenneren i brannrommet og intervall for loggføring. Integriteten ble også vurdert ved hvert forsøk. Vurderingen ble utført ved å feste en bomullsdott helt inntil tverrsnittet i kontakt med stålplatetaket, for å se etter pyrolysering eller antennelse.

For hvert av forsøkene i forsøksserie 1 og 2 er den høyeste målte temperaturen i termoelement 8. Grunnen til dette kan være at termoelement 8 er plassert øverst i profileringen og i senter av taket. Dette er den korteste avstanden til brannen ift. Plasseringen til brenneren i brannrommet.



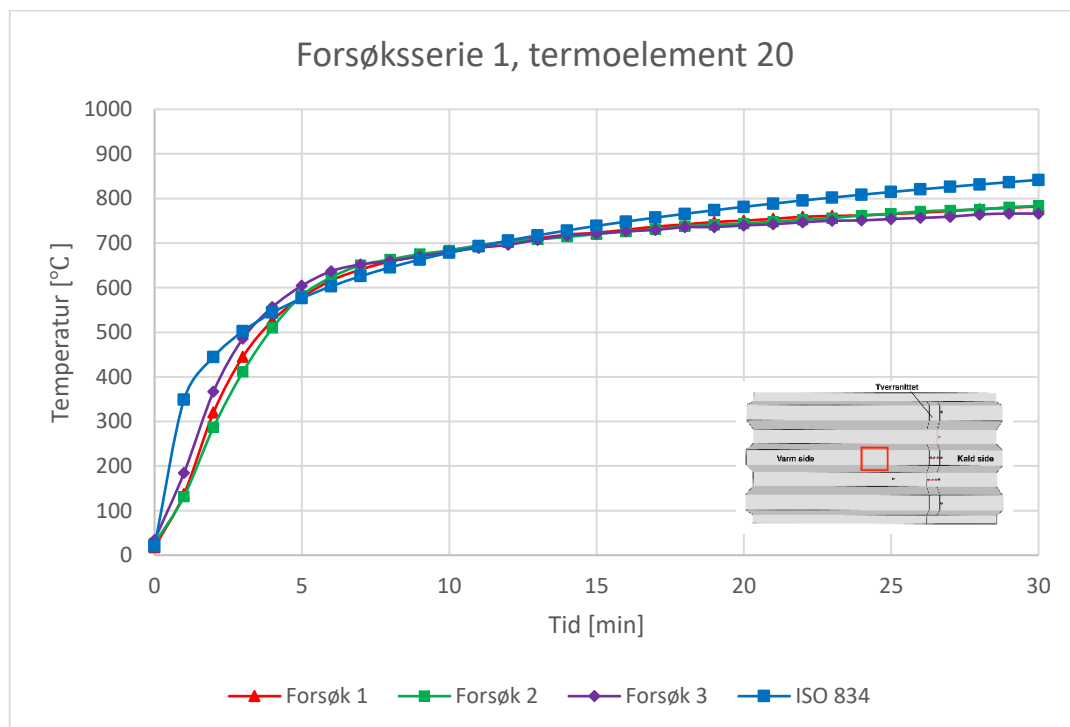
Figur 27 - Temperatur, termoelement 6-10 (forsøksserie 1)

Resultatene som presenteres i Figur 27 og Figur 28 viser at gjennomsnittstemperaturen i termoelement 6-10 i forsøksserie 2 er ca. 50 °C høyere enn i forsøksserie 1. Temperaturforskjellen er ikke av stor betydning ettersom temperaturforskjellen fra forsøk til forsøk i hver av forsøksseriene også er ca. 50 °C.



Figur 28 - Temperatur, termoelement 6-10 (forsøksserie 2)

Forsøk 2 i forsøksserie 1 viser en lavere temperatur i termoelement 6-8 enn i forsøk 1 og 3, se Figur 27. En faktor som kan ha utgjort disse forskjellene kan være betydelige temperaturforskjeller innad i brannrommet, men når en ser på Figur 29 ser en at temperaturen i brannrommet i forsøk 2 er målt høyere enn forsøk 3 og har ca. lik temperatur som forsøk 1. Disse temperaturforskjellen som ble målt i brannrommet kan skyldes at termoelement 18 i brannrommet ikke ble festet i stålplatetaket, men ble plassert ca. 10 cm under taket, og vil derfor ikke nødvendigvis være i samme posisjon ved hvert forsøk. Det kan også være turbulens i flammene som utgjør temperaturforskjellen ved at flammene er i direkte kontakt med termoelementet. Figur 29 viser temperaturen i termoelement 20, som er festet i stålplatetaket mellom tak og isolasjon i senter av brannrommet, se Figur 30. Temperaturen ble målt høyere i forsøk 3 de fem først minuttene enn i forsøk 2. Dette underbygger hypotesen om at termoelementet målte i litt forskjellige posisjoner i brannrommet ved hvert av forsøkene, og/eller at termoelementet tidvis var i direkte kontakt med flammene.



Figur 29 - Temperatur i termoelement 20 i forsøksserie 1

Etter 30 minutter i forsøksserie 1 ligger fire av fem målte temperaturer over akseptkriteriet fra termoelement 6-10, se Figur 27. Termoelement 10 ligger under akseptkriteriet på 180 °C i et punkt og målte ca. 130 °C etter 30 minutter. I forsøk 1 og 3 målte termoelement 6

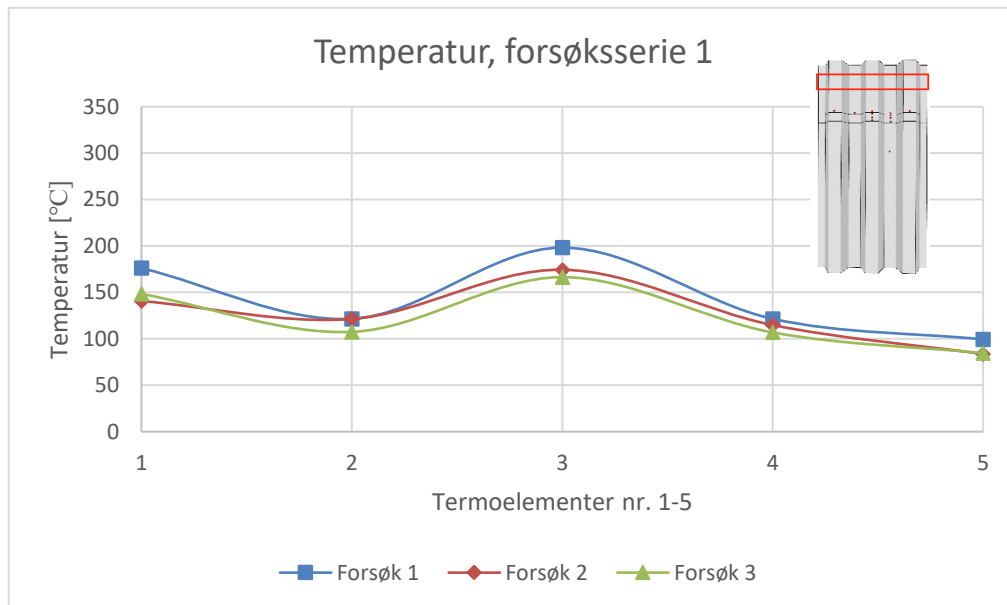
ca. 250 °C, mens forsøk 2 har en temperatur på ca. 200 °C. Grunnen til at temperaturen i termoelement 6 og 10 ikke er symmetrisk kan være plasseringen av termoelementene. Figur 30 illustrerer følgende: hvor termoelement 6 og 10 ble montert på kald side, hvor på takplaten termoelement 20 ble plassert og avstanden fra synlig varmt område til termoelement 6 og 10. Det rustfargede området på stålplaten er det området som har vært i direkte kontakt med varmen eller hatt høye temperaturer. Som Figur 30 viser at termoelement 6 og 10 ikke er plassert symmetrisk i forhold til senter av taket. Det samme gjelder den symmetriske plasseringen til termoelement 1 og 5. Dette vil kunne resultere i at det tar lengre tid før varmen ledes til termoelement 10, noe som gjenspeiles i Figur 27 og Figur 28, hvor temperaturen er vesentlig lavere etter at ståltaket har blitt utsatt for 30 minutters brannpåkjenning.



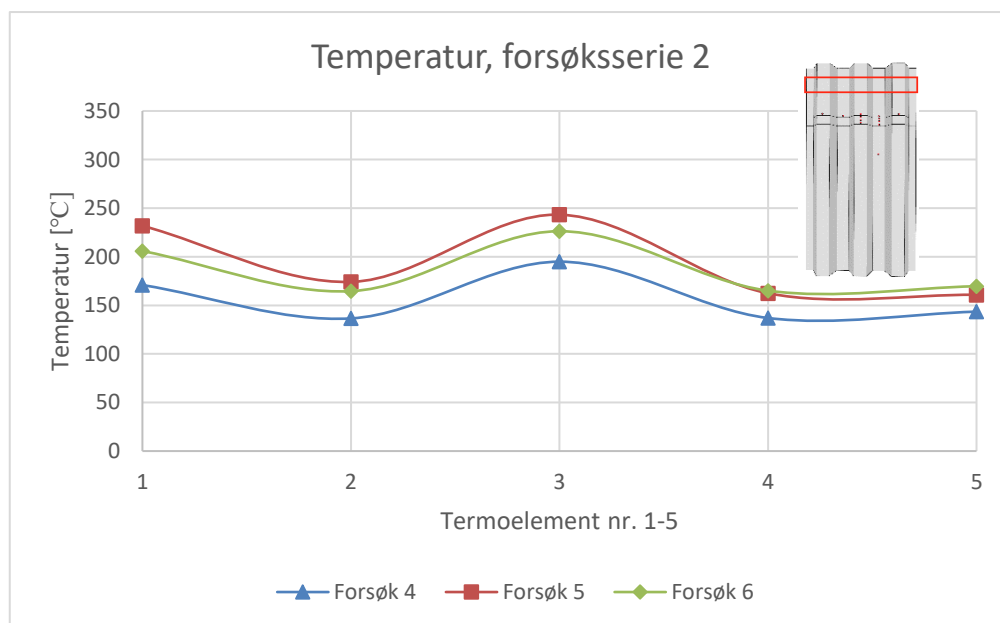
Figur 30 - Varmebelastet stålplatetak med avstand fra termoelement 6 og 10 til varmebelastet område

4.3 Temperaturer 20 cm utenfor brannskillet

Temperaturene som ble målt i termoelement 1-5 ved forsøksserie 1 og 2 befinner seg 20 cm ut fra brannskillet, se Figur 31 og Figur 32. I forhold til termoelement 6-10 har temperaturen sunket 100 °C. Temperaturen ble målt i det 30 minuttet. Horisontal akse representerer de ulike termoelementene, mens vertikal akse representerer temperaturer.



Figur 31 – Temperaturer målt i termoelement 1-5 i forsøksserie 1



Figur 32 – Temperaturer målt i termoelement 1-5 i forsøksserie 2

Gjennomsnittstemperaturen i forsøksserie 2 er generelt høyere enn gjennomsnittstemperaturen i forsøksserie 1. Årsaken til dette kan være lengde forskjellen

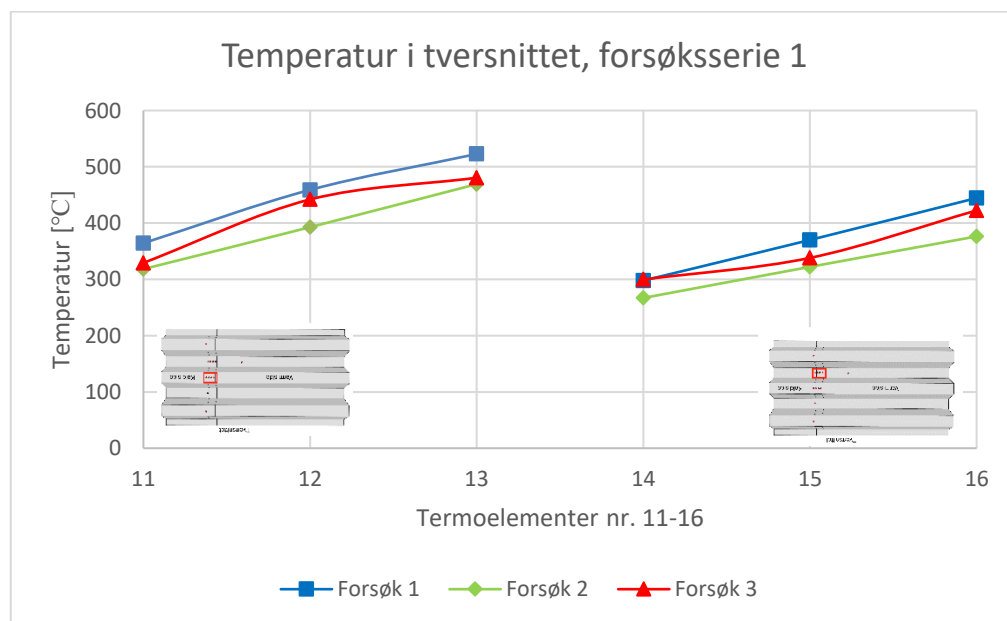
på stålplatetaket. Temperaturforskjellen er ikke av betydning ettersom temperaturforskjellen er lik eller mindre enn temperaturforskjellen mellom hvert av forsøkene.

Termoelement 1, 3 og 5 ligger oppi profileringen og har høyere temperatur enn 2 og 4 som ligger nedi profileringen. Som Figur 31 og Figur 32 viser så avhenger temperaturen av om termoelementene ligger oppi eller nedi profileringen. Det er symmetri mellom termoelement 1-4. Termoelement 5 følger ikke denne symmetrien, fordi den ikke er plassert symmetrisk i forhold til termoelement 1 og senter av taket.

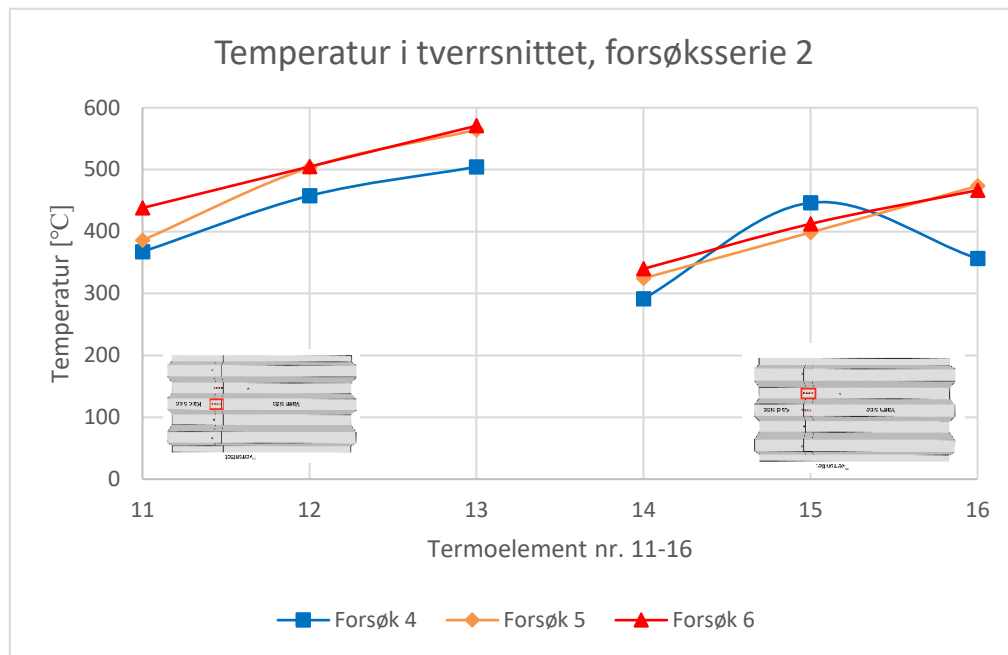
I forsøksserie 1 var det et forsøk som var over akseptkriteriet, mens i forsøksserie 2 var alle forsøkene over akseptkriteriet.

4.4 Temperaturer i tverrsnittet

Temperaturene i tverrsnittet over brannskillet presenteres i Figur 33 og Figur 34. Termoelement 14-16 ligger oppå profileringen, mens termoelement 11-13 ligger nedi profileringen. Termoelement 13 og 16 ligger nærmest brannrommet, mens 11 og 14 ligger lengst vekk fra brannrommet. Temperaturen synker gradvis desto lengre vekk fra brannrommet termoelementene er plassert.



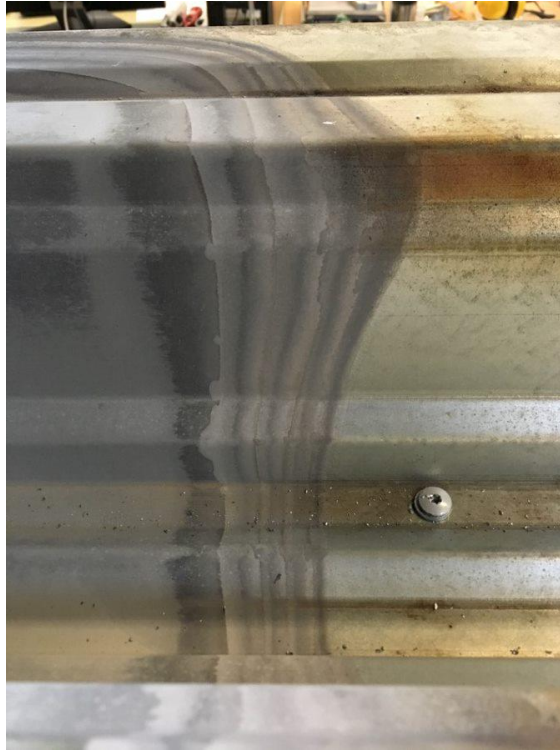
Figur 33 - Temperaturer i tverrsnittet i forsøksserie 1



Figur 34 - Temperaturer i tverrsnittet i forsøksserie 2

Figur 34 viser at i forsøk 4 er temperaturen i termoelement 16 lavere enn i termoelement 15. Årsaken til dette kan være at termoelementet ikke har hatt tilstrekkelig kontakt med stålet.

Gjennomsnittstemperaturen i termoelement 11-13 har en høyere temperatur enn gjennomsnittets temperaturen for termoelement 14-16. Grunnen til dette kan være at termoelement 11-13 ligger oppå profileringen, mens termoelement 14-16 ligger nedi profileringen. Temperaturforskjellen mellom oppå profileringen og nedi profileringen skyldes at stålet oppå profileringen har isolasjon på begge sider, mens stålet nedi profileringen har isolasjon på en side av stålet. Dermed blir det mer varmetap til omkringliggende luft nedi profileringen. Forskjellen mellom varmeledning oppå profileringen og nedi profileringen blir illustrert i Figur 35.



Figur 35 - Forskjell mellom varmeledning oppå profileringen og ned i profileringen

4.5 Antennelse

Resultatene fra forsøkene viser at temperaturen på kald side overstiger akseptkriteriet på 180 °C i et punkt. I forsøkene er det flere feilkilder og begrensninger som gjør at forsøkene ikke direkte gjenspeiler en reel situasjon, men det kan gi en indikasjon på bakgrunn av at temperaturen i ISO 834 er fulgt. Den høyeste målte temperaturen på kald side ble målt til 333 °C i et punkt. Løsningen vil dermed ikke være godkjent ihht. NS-EN 13501-3:2005+A1:2009 [5], men det betyr ikke at det nødvendigvis vil skje en antennelse på kald side. Ut ifra hvilke bygningstyper og bruksområder kan risikoen for antennelse variere. Det må for hvert enkelt tilfelle gjennomføres dokumenterte analyser av risikoen for antennelse med denne type løsning.

5. Konklusjon

I denne oppgaven ble varmeledning via gjennomgående stålplatetak som ligger med profileringen på tvers over brannskillet studert. Et stålplatetak skal ifølge *Teknisk Godkjenning 20073* splittes over brannskillet. Splittingen av stålplatetaket kan kun skje over en akse hvor det er bærende konstruksjon. Av praktiske grunner er det ikke alltid dette lar seg gjøre.

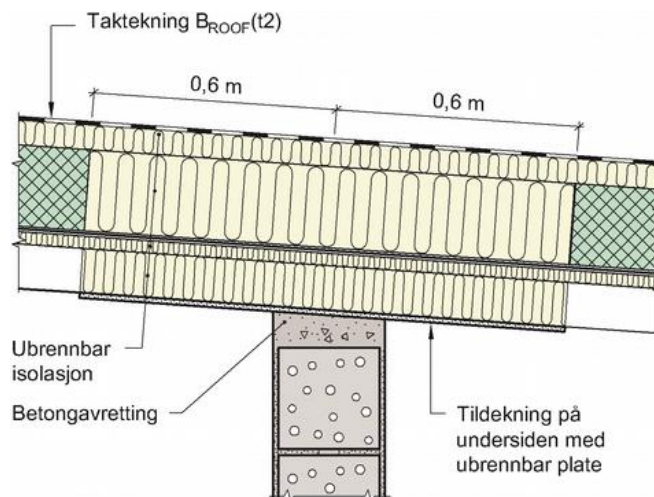
Forsøkene er gjennomført med dimensjonene til et 1/3 ISO-rom, hvor temperaturen i rommet følger ISO 834. Forsøksoppsettet er et småskalaforsøk i forhold til hva et stålplatetak vanligvis brukes til. Det ble bygd opp på en konservativ måte i forhold til den prinsipielle løsningen gitt i *Teknisk Godkjenning*.

Det ble utført håndberegninger og simuleringer i FDS og Argos i forkant av de tre testforsøkene. Det ble estimert at effekten måtte være i størrelsesorden 70-100 kW. Testresultatene viste at branneffekten i forsøkene måtte være 60 kW for å oppnå ca. 842 °C i brannrommet etter 30 minutter. Stålplatetaket ble forlenget på kald side for å sammenligne og vurdere resultatene når varmen har en større avkjølingsflate. Ved å forlenge taket ble temperaturforskjellen ca. 50 °C, det er ikke en temperaturforskjell av stor betydning. Denne temperaturforskjellen er også målt fra forsøk til forsøk i hvert av forsøksseriene, dermed sees ikke forlengelsen av taket ut til å ha innvirkning på varmeledningen.

Forsøkene som ble utført viser at temperaturene på kald side overstiger akseptkriteriet på 180 °C i et punkt. Dvs. at takkonstruksjonen bør konstrueres slik *Teknisk Godkjenning 20073* anviser med splitting av stålplatetaket over brannskillet. Evt. kan videre studie bli gjennomført hvor profileringen blir isolert og underkledd med ubrennbare materialer 60 cm ut fra brannskillet på hver av sidene.

6. Videre studie

I *Teknisk Godkjenning nr. 20073* (TG) er det beskrevet forskjellige løsninger ved tilslutninger til andre bygningsdeler, som f.eks. branncellebegrensende vegg. Figur 4 og Figur 5 fra TPF nr.6 rev 17 [30] beskriver prinsippet for de samme løsningene ved tilslutninger til andre bygningsdeler. En løsning som ikke er beskrevet i TG, men som er beskrevet i TPF nr.6 rev 17 er at plateprofilene går på tvers av veggen (se Figur 36). TPF nr.6 rev 17 beskriver der at stålplatetaket kan gå kontinuerlig over branncellebegrensende vegg som er avsluttet under taket og profileringene går på tvers av veggen, dersom røyk- og varmeledning er hindret. Profileringene må være fylt med ubrennbar isolasjon og undersiden av stålplatene må minst tildekkes med f.eks. 13 mm gips type A (ubrennbar plate) i lengde på 600 mm til begge sider for å holde isolasjonen på plass. Dersom disse kravene ikke tilfredsstilles skal platetaket splittes over den branncellebegrensede veggen og samme krav som beskrevet i Figur 5 er gjeldende. Konstruksjonen kan brukes i brannklasse 1-2. I *Teknisk Godkjenning nr. 20073* kommer det tydelig frem at tilslutninger over branncellebegrensende vegg ikke skal være sammenhengende: "*Stålplatene må splittes over veggen og hver side festes separat*" [6].



Figur 36 - Platetak kontinuerlig over branncellebegrensende vegg som avslutter under taket [30]

Etter å ha vært i kontakt med *SINTEF Byggforsk* viser det seg at andre avsnitt pkt.7.8 i TG hovedsakelig gjelder for plater som ligger parallelt med veggen. Løsninger for plateprofiler som ligger på tvers av veggen har ikke blitt vurdert i TG. Prinsippet for løsningen i Figur 36 gitt i revisjon 17 av TPF nr.6 er basert på rapportene i pkt.9 i TG, som igjen er grunnlaget for godkjenningen til TG. Som del av videre arbeid kunne det vært interessant



med å se om løsningen gitt i Figur 36 tilfredsstillende akseptkriteriet $< 180^{\circ}\text{C}$ i et punkt, når platen blir utsatt for 30 minutters brannpåkjenning ved temperaturer gitt i Figur 10. Forsøk som skal utføres på en slik takkonstruksjonen bør gjøres i et fullskala forsøk, som f.eks. i et ISO-rom. Dersom 1/3 ISO-rom benyttes vil isolasjonen og den ubrennbare platen dekke 50% av takarealet som blir utsatt for direkte brannpåkjenning. Det er også ønskelig å måle strålingen fra platetaket på kald side, for å se om strålingen er akseptabel mtp. antennelse av materialer på andre siden av brannskillet.

7. Referanser

- [1] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «dsb.no,» 2019. [Internett].
- [2] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Brannstatistikk 2018,» Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2019.
- [3] Direktoratet for byggkvalitet, «Veiledning til kapittel 11 Sikkerhet ved brann,» Direktoratet for byggkvalitet, 2017.
- [4] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17), veiledning til kapittel 11 sikkerhet ved brann,» Direktoratet for byggkvalitet, 2017.
- [5] Norsk Standard, *NS-EN 13501-3:2005+A1:2009*, 2009.
- [6] SINTEF Certification, «Teknisk godkjenning nr.20073,» Sintef Byggforsk, 2015.
- [7] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, *Forskrift om Omsetning og Dokumentasjon av Produkter til Byggverk*, 2014.
- [8] Direktoratet for byggkvalitet, *Byggteknisk Forskrift*, 2010.
- [9] Forskningsgruppe, Takprodusentenes, *TPF Informerer nr. 6*, 2011.
- [10] B. C. Hagen, *Grunnleggende brannteknikk*, 2016.
- [11] B. Karlsson og J. G. Quintiere, *Enclosure Fire Dynamics*, CRC Press LLC, 2000.
- [12] D. Drysdale, *An Introduction to fire dynamics*, third edition, Edinburgh: Wiley, 2011.
- [13] B. C. Hagen, *Grunnleggende brannteknikk*, 2004.
- [14] Direktoratet for byggkvalitet, *Veiledning til byggteknisk forskrift (VTEK 10)*, 2010.
- [15] byggkvalitet, Direktoratet for, *Byggteknisk forskrift 17*, 2017.
- [16] SINTEF, *Byggforskserien: Bruk av brennbar isolasjon i bygninger*, 2018.
- [17] SINTEF, *Byggforskserien: Kompakte tak*, 2018.
- [18] SINTEF, *Byggforskserien: Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner*, 2004.
- [19] Standard Norge, «NS-EN 13501-2:2016 Brannklasifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 2: Klassifisering ved bruk av resultater fra brannmostandsprøving, unntatt ventilasjonssystemer,» Standard Norge, 2016.
- [20] International standard ISO 9705-1:2016, «Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products,» Standard online AS, 2016.
- [21] Research Institutes of Sweden, «sp.se,» 2017. [Internett].
- [22] Ø. Grøn, «Store norske Leksikon,» 29 September 2014. [Internett]. Available: <https://snl.no/termoelement>.
- [23] «Tip ordboka,» [Internett]. Available: <http://www.tip-ordboka.no/termoelement>.
- [24] K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd og M. Vanella, *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical Model*, National Institute of Standards and Technology, 2018.
- [25] K. McGrattan, R. Dermott, S. Hostikka, J. Floyd, M. Vanella, C. Weinschenk og K. Overholt, *Fire Dynamics Simulator User's Guide*, National Institute of Standars and Technology.
- [26] S. M. Kevin McGrattan, *Modeling fire using computational fluid dynamics (CFD)*, SFPE Handbook of fire protection engineering, 2016, pp. s. 1039-1040.



- [27] T. Deibjerg, B. P. Husted, H. Bygbjerg og D. Westerman, *Argos User's Guide A step by step guide to fire simulation*, København: Danish Institute og Fire and Security Technology, 2003.
- [28] Tata Steel, *Høyprofiler Datablad*, Tata Steel Norway Byggsystemer A/s, 2013.
- [29] E. Fladberg, «Teknisk ukeblad,» 27 Mars 2013. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/tolerante-termoelementer/218579>. [Funnet 26 April 2019].
- [30] Takprodusentenes forskningsgruppe, *TPF Informerer nr. 6 Rev. 2017*, 2017.
- [31] B. C. Hagen, *Grunnleggende brannteknikk*, Hagens Forlag, 2014.
- [32] B. Pedersen, «Store norske leksikon,» 19 juni 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/aggregattilstand>.

Vedlegg A: Temperatur utenfor brannrommet

Tabell 2 gir en oversikt over temperaturene som er målt ved termoelement nr. 6-10 ved tiden 30 minutter. Disse termoelementene er plassert rett utenfor tverrsnittet på kald side. Temperaturene blir målt i samme punkt for hvert forsøk.

Tabell 2 - Temperaturoversikt termoelement 6-10, forsøksserie 1 og 2

Termoelement	Forsøksserie 1			Forsøksserie 2		
	Forsøk 1	Forsøk 2	Forsøk 3	Forsøk 4	Forsøk 5	Forsøk 6
6	261	201	246	250	272	274
7	255	228	238	255	271	272
8	299	253	275	271	329	333
9	199	198	227	249	264	273
10	130	130	136	162	179	193

Vedlegg B: Bilder

